

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

Gustavo Rossa Camelo

**ESTIMAÇÃO DAS EMISSÕES ORIGINADAS DE VEÍCULOS
LEVES NA CIDADE DE SÃO LUÍS - MA**

Florianópolis

2011

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

Gustavo Rossa Camelo

**ESTIMAÇÃO DAS EMISSÕES ORIGINADAS DE VEÍCULOS
LEVES NA CIDADE DE SÃO LUÍS - MA**

Dissertação submetida ao Programa de
Pós-Graduação em Engenharia de
Produção da Universidade Federal de
Santa Catarina para a obtenção do
Grau de Mestre em Engenharia de
Produção, área de concentração
Logística e Transporte
Orientador: Prof. Dr. Antônio Sérgio
Coelho

Florianópolis

2011

Catalogação na fonte pela Biblioteca Universitária
da
Universidade Federal de Santa Catarina

C181e Camelo, Gustavo Rossa
Estimação das emissões originadas de veículos
leves na cidade de São Luís - MA [dissertação] /
Gustavo Rossa Camelo ; orientador, Antônio Sérgio
Coelho. - Florianópolis, SC, 2011.
173 p.: il., grafs., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de
Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

Inclui referências

1. Engenharia de produção. 2. Teoria da
estimativa. 3. Veículos - Poluição. 4. Ar -
Poluição. 5. Programa de Controle da Poluição do Ar
por Veículos Automotores. I. Coelho, Antônio Sérgio.
II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa
de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. III.
Título.

CDU 658.5

Gustavo Rossa Camelo

**ESTIMAÇÃO DAS EMISSÕES ORIGINADAS DE VEÍCULOS
LEVES NA CIDADE DE SÃO LUÍS - MA**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre em Engenharia de Produção”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 24 de fevereiro de 2011

Prof. Dr. Antonio Cezar Bornia
Coordenador do Programa de Pós-Graduação
Em Engenharia de Produção

BANCA EXAMINADORA

Prof. Antônio Sérgio Coelho, Dr.
Orientador

Prof. Carlos M. T. Rodriguez, Dr.
Membro Titular

Prof. Waldemar Pacheco Júnior, Dr.
Examinador Externo

Prof. Enzo Morosini Frazzon, Dr.
Examinador Externo

Dedico este trabalho àqueles que sempre lutaram por mim: minha esposa Renata, com quem compartilhei o desafio de fazer um Mestrado distante do conforto de nossos familiares; ao meu pai Nelson que me conscientizou da importância do estudo e do conhecimento; ao meu irmão Hugo, por seus ensinamentos e por sua amizade.

AGRADECIMENTOS

Agradecer é um gesto de reconhecimento e retribuição às graças, benefícios, dádivas, favor e gentilezas recebidos.

A todos e a tudo sou grato pelo que tenho recebido num nível maior do que meu merecimento.

À Universidade Federal de Santa Catarina e à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção: pela oportunidade de cursar o Mestrado, de poder usufruir dos ensinamentos de seus pesquisadores e pelo atendimento eficiente e personalizado de seus técnicos administrativos;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil, pelo apoio financeiro em mais este período de estudos;

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – PPGEP, em particular ao Prof. Antônio Sérgio Coelho, meu orientador, pela dedicação, e aos Profs. Carlos Manuel Taboada Rodriguez e Antonio Cezar Bornia, pelos ensinamentos e momentos de descontração;

Aos colegas do PPGEP, Carolina Aguiar dos Santos, Claudia Maria Duarte Nienkötter, Neimar Follmann e Rosimeri Maria de Souza, por tornarem o período de mestrado ainda mais enriquecedor;

Aos meus amigos, Bruno Gomes Gerude, Carlos Brissac Neto, Danilo Mohana Pinheiro Carvalho Lima, Heider Silva Santos, Leolino Rocha Neto, Rafael Mariano Arruda Noletto, Ramon Luís Coelho Arruda, Sebastião Carvalho Lima Júnior, pelas parcerias, risadas, conselhos e torcida de sempre;

A minha esposa, Renata Massoli Borges, companheira de aventuras, por acreditar em mim e me deixar acreditar nela, pela compreensão em todos os momentos, pela alegria e a certeza de que tudo sempre vai dar certo – O melhor lugar do mundo é do teu lado;

A meu irmão, Hugo Rossa Camelo, pelo convívio fraterno e pela preocupação recíproca;

A minha mãe, Rosemeri Regina Rossa (*in memoriam*), pelos primeiros passos e por ter me ensinado o caminho do bem;

A meu pai, Nelson José Camelo, por sempre me dar todo o apoio, incentivo e condições para realizar os meus sonhos e por me ensinar que muito mais importante do que ser o melhor, é poder melhorar sempre;

E por fim, agradeço a Deus, por me dar a chance de conviver com as pessoas e crescer enquanto espírito; e por mais uma missão cumprida.

Muito Obrigado.

“O único progresso humanamente relevante é o que contribui de fato para o bem-estar de todos [...] O progresso, nesse sentido, não é uma doação espontânea da técnica, mas uma construção intencional, pela qual os homens decidem o que deve ser produzido, como e para quem, evitando ao máximo os custos sociais e ecológicos de uma industrialização selvagem”

(Sérgio Paulo Rouanet, 1987)

RESUMO

CAMELO, Gustavo Rossa. **Estimação das emissões originadas de veículos leves na cidade de São Luís – MA. 2011.** 173f. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

Esta dissertação tem por objetivo realizar a estimativa das emissões originadas por veículos leves na cidade de São Luís e examinar a eficácia do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores para a redução das emissões de poluentes na capital maranhense. Neste estudo foram analisadas as emissões de quatro gases: monóxido de carbono, hidrocarbonetos e os óxidos de nitrogênio - considerados os principais poluentes emitidos por veículos automotores; e o aldeído - poluente exclusivo da combustão do álcool e da gasolina brasileira que possui até 25% de álcool. O cálculo das emissões terá como referência o ano de 2010 e irá considerar as emissões para três tipos de combustíveis: gasolina, álcool e bicombustíveis (flex), que representam aproximadamente 99,9% da frota atual em circulação. Para os cálculos da estimativa de emissões de poluentes originadas de veículos leves em São Luís, foi adotada a metodologia utilizada pela CETESB no desenvolvimento de seus inventários para o estado de São Paulo que, por sua vez, é uma adaptação da metodologia desenvolvida pela EPA/EUA.

Palavras-chave: Estimação. Emissões veiculares. Poluentes atmosféricos. PROCONVE.

RESUMEN

CAMELO, Gustavo Rossa. **Estimação das emissões originadas de veículos leves na cidade de São Luís – MA. 2011.** 173f. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

Esta disertación tiene por objetivo realizar la estimación de las emisiones originadas por vehículos ligeros en la ciudad de São Luís en y evalúa la eficacia del Programa de Control de Contaminación del Aire por Vehículos Automotores (PROCONVE) para la reducción de las emisiones de contaminantes en la capital de Maranhão. En este estudio fueran analizadas las emisiones de cuatro gases: monóxido de carbono, hidrocarburos y óxidos de nitrógeno - considerados los principales contaminantes emitidos por los vehículos, y aldehído – contaminante exclusivo de la combustión de etanol y de la gasolina brasileña que tiene hasta el 25% de alcohol. El cálculo de las emisiones tendrá como referencia el año de 2010 y tendrá considerar las emisiones de tres tipos de combustible: gasolina, alcohol y combustible flexible (flex), que representan aproximadamente el 99,9% de la flota actual en circulación. Para el cálculo de la estimativa de emisiones de contaminantes originadas de los vehículos ligeros en São Luís fue adoptada la metodología utilizadas por la CETESB en el desarrollo de sus inventarios al estado de São Paulo, que, por su vez, es una adaptación de la metodología desarrollada por la EPA/EUA.

Palabras clave: Estimación. Emisiones vehiculares. Contaminantes del aire. PROCONVE.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Delineamento da pesquisa.....	33
Figura 2.1 – Diferentes tipos de emissões	40
Figura 3.1 – Fases do PROCONVE para veículos leves de passageiros	56
Figura 3.2 – Gráfico de emissão de poluentes segundo fases do PROCONVE	58-59
Figura 4.1 – Desenvolvimento do inventário de emissões veiculares ...	75
Figura 4.2 – Metodologias Top-down e Bottom-up	76
Figura 4.3 – Veículos equipados com instrumentos de medição a bordo	84
Figura 4.4 – Ensaio de dinamômetro de chassi para a medição de poluentes	85
Figura 4.5 – Obtenção de emissões veiculares através de sensoriamento remoto	86
Figura 4.6 – Níveis de detalhamento em modelos de emissões	91
Figura 4.7 – Interface MOVES 2010	94
Figura 4.8 – Interface IVE 2.0.2.....	97
Figura 4.9 – Arquitetura do modelo IVE 2.0.2.....	98
Figura 4.10 – Interface COPERT	101
Figura 5.1 – Perfil da frota considerada – ano 2010.....	111
Figura 5.2 – Perfil de emissões de CO – veículos a gasolina.....	119
Figura 5.3 – Perfil de emissões de HC – veículos a gasolina.....	120
Figura 5.4 – Perfil de emissões de NOx – veículos a gasolina.....	120
Figura 5.5 – Perfil de emissões de RCHO – veículos a gasolina	121
Figura 5.6 – Perfil de emissões de CO – veículos a álcool.....	122
Figura 5.7 – Perfil de emissões de HC – veículos a álcool.....	122
Figura 5.8 – Perfil de emissões de NOx – veículos a álcool	123
Figura 5.9 – Perfil de emissões de RCHO – veículos a álcool	123
Figura 5.10 – Perfil de emissões de CO – veículos flex.....	124
Figura 5.11 – Perfil de emissões de HC – veículos flex.....	124
Figura 5.12 – Perfil de emissões de NOx – veículos flex.....	125
Figura 5.13 – Perfil de emissões de RCHO – veículos flex	125
Figura 5.14 – Impacto dos fatores de deterioração – CO	126
Figura 5.15 – Impacto dos fatores de deterioração – HC e RCHO	127
Figura 5.16 – Impacto dos fatores de deterioração – NOx	127
Figura 5.17 – Frota considerada desagregada por combustível e fases do PROCONVE	129
Figura 5.18 – Emissões totais x limites máximos	133

Figura 5.19 – Curvas de sucateamento para automóveis e comerciais leves	134
--	-----

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Combustão completa em um motor (hidrocarboneto puro)	41
Quadro 2.2 – Combustão incompleta em um motor (hidrocarboneto puro)	42
Quadro 2.3 – Combustão incompleta em um motor (hidrocarbonetos mistos)	42
Quadro 2.4 – Formação do Ozônio	43
Quadro 2.5 – Categoria das emissões evaporativas	44
Quadro 2.6 – Efeitos do monóxido de carbono	45
Quadro 2.7 – Efeitos do dióxido de carbono	45
Quadro 2.8 – Efeitos do hidrocarboneto	46
Quadro 2.9 – Efeitos dos óxidos de nitrogênio	46
Quadro 2.10 – Efeitos do enxofre	47
Quadro 2.11 – Efeitos do ozônio	48
Quadro 2.12 – Efeitos dos compostos orgânicos voláteis	48
Quadro 2.13 – Efeitos do chumbo	49
Quadro 2.14 – Efeitos do material particulado	49
Quadro 2.15 – Efeitos do aldeído	50
Quadro 3.1 – Categorias de veículos no modelo MOVES	96
Quadro 3.2 – Categorias de veículos no COPERT	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Limites máximos de emissão para veículos leves de passageiros	60
Tabela 3.2 – Veículos Leves Comerciais – massa referência para ensaio menor que 1.700 kg	61
Tabela 3.3 – Veículos Leves Comerciais – massa referência para ensaio maior que 1.700 kg.....	62
Tabela 3.4 – Veículos Pesados – Ciclo Diesel – Convencional e com Pós-tratamento (Ciclo de testes ESC/ELR)	64
Tabela 3.5 – Veículos Pesados – Ciclo Diesel – Convencional e Pós-tratamento (Ciclo de testes ETC)	64
Tabela 3.6 – Veículos Pesados – Ciclo Diesel – Com Pós-tratamento (Ciclo de testes ESC/ERL)	65
Tabela 3.7 – Veículos Pesados – Movidos a GNV (Ciclo de testes ETC).....	66
Tabela 3.8 – Ciclomotores.....	67
Tabela 3.9 – Motocicletas	67
Tabela 3.10 – Fatores médios de emissão de veículos leves novos.....	69
Tabela 5.1 – Frota de veículos do município de São Luís.....	105
Tabela 5.2 – Quantidade de veículos leves em circulação por ano de fabricação	106
Tabela 5.3 – Frota de veículos do município de São Luís por combustível	106
Tabela 5.4 – Produção por combustível – Distribuição percentual – 1980/2010.....	107
Tabela 5.5 – Licenciamento de veículos novos por combustível – Distribuição percentual – 1980/2010.....	108
Tabela 5.6 – Veículos leves em circulação por ano de fabricação e combustível	109
Tabela 5.7 – Frota considerada.....	110
Tabela 5.8 – Valores da distância média percorrida adotados pela CETESB	112
Tabela 5.9 – Fatores de deterioração adotados pela CETESB	114
Tabela 5.10 – Fatores de deterioração da EPA - HC.....	116
Tabela 5.11 – Fatores de deterioração da EPA - CO.....	117
Tabela 5.12 – Fatores de deterioração da EPA - NOx.....	117
Tabela 5.13 – Quantificação da emissão de poluentes em 2010 para São Luís (Fator de deterioração do AP-42).....	118

Tabela 5.14 – Quantificação da emissão de poluentes em 2010 para São Luís (Fator de deterioração adotado pela CETESB)	118
Tabela 5.15 – Resumo dos resultados das emissões de 2010 - consolidado	130
Tabela 5.16 – Resumo dos resultados das emissões de 2010 para frota a gasolina	131
Tabela 5.17 – Resumo dos resultados das emissões de 2010 para frota a álcool	131
Tabela 5.18 – Resumo dos resultados das emissões de 2010 para frota a flex	132
Tabela 5.19 – Projeção da quantidade de veículos leves em circulação por ano de fabricação e combustível para São Luís em 2014	135
Tabela 5.20 – Quantificação da emissão de poluentes em 2014 para São Luís (Fator de deterioração do AP-42)	136

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRACICLO – Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares
AEA – Associação Brasileira de Engenharia Automotiva
ANFAVEA – Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotores
ANTP – Associação Nacional de Transportes Público
CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CNP – Conselho Nacional de Petróleo
CO – Monóxido de Carbono
CO₂ – Dióxido de Carbono
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPERT – Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport
COVs – Compostos Orgânicos Voláteis
DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito
DETRAN – Departamento Estadual de Trânsito
DNC – Departamento Nacional de Combustíveis
EPA – Environmental Protection Agency
FEEMA – Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente
FENABRAVE – Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores
HC – Hidrocarbonetos
HEI – Health Effects Institute
IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INE – Instituto Nacional de Ecología (México)
INEA – Instituto Estadual do Ambiente
INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
IVE – International Emissions Vehicle
MERCOSUL – Mercado Comum do Sul
MOVES – Motor Vehicle Emission Simulator
MP – Material Particulado
NO – Óxido de Nitrogênio
NO₂ – Dióxido de Nitrogênio
NO_x – Óxidos de Nitrogênio
NRC – National Research Council

O3 – Ozônio

Pb – Chumbo

PROCONVE – Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores

PROMOT – Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares

RCHO – Aldeído

SEMA – Secretaria do Meio Ambiente do Estado

SEMANART – Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (México)

SINDIPEÇAS – Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores

SOx – Óxidos de enxofre

STI – Secretaria de Tecnologia da Informação

UITP – União Internacional de Transportes Públicos

WBCSD – World Business Council For Sustainable Development

WGA - Western Governors Association (Associação de Governadores do Oeste dos Estados Unidos)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	29
1.1 PROBLEMA.....	30
1.2 OBJETIVOS	31
1.2.1 Objetivo Geral.....	31
1.2.2 Objetivos Específicos	31
1.3 JUSTIFICATIVA	31
1.4 CONTRIBUIÇÕES	32
1.5 METODOLOGIA.....	33
1.5.1 Classificação da Pesquisa	34
1.5.1.1 – Natureza	34
1.5.1.2 – Abordagem do problema.....	34
1.5.1.3 – Procedimentos técnicos	34
1.5.1.4 – Objetivos da pesquisa	35
1.5.2 Etapas da Pesquisa.....	35
1.6 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	36
1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	37
2 EMISSÕES VEICULARES – UMA VISÃO GERAL	39
2.1 FORMAÇÕES DAS EMISSÕES VEICULARES	40
2.1.1 Emissões de combustão.....	40
2.1.2 Emissões evaporativas	43
2.2 COMPOSTOS EMITIDOS PELOS VEÍCULOS	44
2.2.1 Monóxido de carbono	45
2.2.2 Dióxido de carbono.....	45
2.2.3 Hidrocarboneto	46
2.2.4 Óxidos de nitrogênio.....	46
2.2.5 Dióxido de enxofre	47
2.2.6 Ozônio	47

2.2.7 Compostos orgânicos voláteis	48
2.2.8 Chumbo	48
2.2.9 Material particulado.....	49
2.2.10 Aldeído	49
3 PROGRAMA DE CONTROLE DA POLUIÇÃO DO AR POR VEÍCULOS AUTOMOTORES	51
3.1 ESTRATÉGIA	53
3.1.1 Homologação de protótipo	53
3.1.2 Controle de produção/importação.....	53
3.1.3 Responsabilidade do fabricante/importador	54
3.1.4 Requisitos de manutenção.....	54
3.1.5 Controle pós-venda	55
3.2 CARACTERIZAÇÃO	55
3.2.1 Veículo leve de passageiros (automóveis).....	55
3.2.2 Veículo leve comercial (utilitários)	61
3.2.3 Veículo pesado (ônibus e caminhão)	63
3.2.4 Veículo de duas rodas e semelhantes (motocicletas e ciclomotores)	66
3.3 RESULTADOS	68
4. METODOLOGIA PARA ESTIMAÇÃO DE EMISSIONES VEICULARES	73
4.1 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE UM INVENTÁRIO	73
4.2 METODOLOGIA BÁSICA PARA ESTIMAÇÃO DE EMISSIONES VEICULARES	74
4.2.1 Número de veículos (NV)	76
4.2.1.1 – Tipos de veículos	76
4.2.2 Atividade veicular (AV)	77
4.2.2.1 – Distribuição por velocidade	78
4.2.2.2 – Número de viagens por dia	78
4.2.2.3 – Uso do ar condicionado	79

4.2.3 Fatores de Emissão (FE)	79
4.2.3.1 – Técnicas diretas para obtenção de fatores de emissões	80
4.2.3.2 – Técnicas indiretas para obter fatores de emissões	83
4.2.4 Outros fatores a considerar	84
4.2.4.1 – Dados da localidade	84
4.2.4.2 – Características do inventário	85
4.3 MODELOS PARA ESTIMATIVAS DE EMISSÕES DE POLUENTES VEICULARES	85
4.3.1 Principais modelos para estimativa de emissões veiculares	89
4.3.1.1 – Modelo MOBILE.....	89
4.3.1.1.1 Características do modelo MOBILE	90
4.3.1.2 – Modelo MOVES.....	90
4.3.1.1.2 Características do modelo MOVES	91
4.3.1.3 – Modelo IVE	93
4.3.1.1.3 Características do modelo IVE.....	96
4.3.1.4 – Modelo COPERT	96
4.3.1.1.4 Características do modelo COPERT	98
5. ESTUDO DE CASO: ESTIMAÇÃO DAS EMISSÕES VEICULARES DE POLUENTES EM SÃO LUÍS	103
5.1 PERFIL DA FROTA CONSIDERADA.....	102
5.2 DISTÂNCIA MÉDIA ANUAL PERCORRIDA.....	109
5.3 FATORES DE EMISSÃO	111
5.4 FATORES DE DETERIORAÇÃO	112
5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	115
5.6 CONSEQUÊNCIA DO PROGRAMA DE CONTROLE DO AR POR VEÍCULOS AUTOMOTORES SOBRE AS EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS EM SÃO LUÍS EM 2014	126
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	137
6.1 CONCLUSÕES	137
6.2 RECOMENDAÇÕES	138

REFERÊNCIAS	141
APÊNDICE A – Planilha de cálculo das emissões totais de CO para veículos a gasolina.....	149
APÊNDICE B – Planilha de cálculo das emissões totais de HC para veículos a gasolina.....	151
APÊNDICE C – Planilha de cálculo das emissões totais de NOx para veículos a gasolina.....	153
APÊNDICE D – Planilha de cálculo das emissões totais de RCHO para veículos a gasolina.....	155
APÊNDICE E – Planilha de cálculo das emissões totais de CO para veículos a álcool	157
APÊNDICE F – Planilha de cálculo das emissões totais de HC para veículos a álcool	159
APÊNDICE G – Planilha de cálculo das emissões totais de NOx para veículos a álcool	161
APÊNDICE H – Planilha de cálculo das emissões totais de RCHO para veículos a álcool	163
APÊNDICE I – Planilha de cálculo das emissões totais de CO para veículos flex	165
APÊNDICE J – Planilha de cálculo das emissões totais de HC para veículos flex.....	167
APÊNDICE L – Planilha de cálculo das emissões totais de NOx para veículos flex.....	169
APÊNDICE M – Planilha de cálculo das emissões totais de RCHO para veículos flex.....	171

1 INTRODUÇÃO

Quando surgiram, há pouco mais de um século, os automóveis foram considerados como um importante instrumento de mobilidade, capaz de transportar bens e pessoas de modo rápido e confortável, contribuindo assim para o bem estar das populações. No entanto, prontamente se constatou que estas vantagens apresentavam um custo elevado.

Com o crescimento acelerado da sua utilização, sobretudo nos países desenvolvidos e industrializados, os automóveis começaram a ser vistos como causadores e/ou contribuidores para o agravamento de vários problemas ambientais.

O setor de transporte está diretamente associado a diferentes problemas ambientais, entre os quais a emissão de poluentes atmosféricos, a poluição sonora, a degradação paisagística com a crescente ocupação do espaço urbano por infra-estruturas rodoviárias ou de apoio aos transportes e a produção de resíduos, tais como, sucatas, pneus e óleos.

As emissões veiculares são resultados da queima da mistura combustível-ar em motores de combustão interna e da evaporação de combustíveis e de outros compostos orgânicos voláteis no interior do veículo.

A atividade de transporte é uma das principais fontes de emissões de poluentes atmosféricos. Estudos recentes indicam que mais de 45% das emissões de poluentes nos Estados Unidos é decorrência de emissões veiculares. Os veículos automotores são responsáveis por aproximadamente 75% da emissão de CO (monóxido de carbono) e 35% da emissão de HC (hidrocarbonetos) e NO_x (óxidos de nitrogênio). No Brasil, o setor de transporte é o segundo maior emissor de CO₂ (dióxido de carbono), com 9% do total. As queimadas e o desmatamento são responsáveis por 75% da emissão de CO₂ (NIZICH; MCMULLEN; MISENHEIMER, 1994; NRC, 1995; PINTO, 2010).

Nos últimos anos, inúmeras medidas resultantes da inovação tecnológica, em nível de veículos e combustíveis, tem reduzido bastante as emissões tóxicas provenientes dos automóveis. A exemplo, os automóveis hoje emitem aproximadamente 90% menos que os modelos dos anos 70. Todavia, o crescimento da frota de veículos, bem como o aumento nas distâncias percorridas, tem contribuído para um aumento das emissões veiculares, compensando os benefícios já alcançados (WBCSD, 2001).

Atentos aos malefícios causados pela poluição atmosférica, autoridades governamentais têm discutido políticas destinadas a promover tecnologias ambientais (que resultem em menos efeitos negativos ao meio ambiente), de forma a reduzir a pressão sobre os recursos naturais, melhorar a qualidade de vida da população e favorecer o crescimento econômico.

A partir de então, indicadores como redução do consumo de combustível e de emissões tornaram-se importantes variáveis no processo de tomada de decisão quanto a novos projetos de transporte.

Para Jacondino (2005), o impacto de medidas de controle de transporte na qualidade do ar é tipicamente avaliado em termos das reduções das emissões veiculares ocasionadas por estas políticas. Dessa forma, revela-se a importância de utilizar modelos quantitativos para a estimativa de poluentes provenientes do tráfego rodoviário, ou simplesmente modelos de emissão, como forma de avaliar a eficácia destas políticas.

Em contributo, este trabalho pretende apresentar a problemática das emissões de poluentes de origem veicular, bem como, metodologias para cálculos e estimativas destas emissões. Ademais, este trabalho tem como finalidade estimar as emissões originadas de veículos leves “carros particulares” na cidade de São Luís para o ano de 2010 e examinar a eficácia do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) na redução das emissões. O PROCONVE, instituído pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, em 1986, estabelece limites máximos de emissão para veículos novos vendidos no país, em ensaios padronizados e com combustíveis de referência. As consequências deste programa e seus efeitos de médio e longo prazo sobre as emissões de poluentes atmosféricos são quantificados e discutidos, a partir de um estudo do inventário das emissões na Região Metropolitana de São Luís.

1.1 PROBLEMA

Quais as emissões de monóxido de carbono, hidrocarbonetos, óxidos de nitrogênio e aldeídos originados de veículos leves em São Luís (MA) em 2010 e quais as consequências do Programa de Controle do Ar por Veículos Automotores para a melhoria da qualidade do ar na capital maranhense?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo é realizar a estimativa das emissões originadas por veículos leves na cidade de São Luís em 2010 e examinar a eficácia do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores para a redução das emissões de poluentes na capital maranhense.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para atender ao objetivo geral, o estudo compreende os seguintes objetivos específicos:

- a) Entender a problemática das emissões de poluentes veiculares.
- b) Conhecer o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
- c) Compreender a metodologia básica para estimativa de emissões veiculares.

1.3 JUSTIFICATIVA

Garantir um sistema de transporte organizado e gerenciado de modo eficiente é uma das maiores preocupações das autoridades dos grandes centros urbanos.

O grande desafio é prover serviços de transporte eficientes, seguros, convenientes e econômicos, levando em consideração questões ambientais, como: promover a ocupação racional da terra e a diminuição do consumo de energia e das emissões de gases poluentes; tornar o transporte coletivo altamente atraente inclusive para quem tem carro; e, disciplinar o transporte individual evitando congestionamento.

Temas como: planejamento e gestão do transporte urbano; simulação e modelagem do transporte; a ocupação da terra (*land use*) e o transporte integrado; métodos quantitativos e estatísticos em transporte; sistemas intermodais de transportes de passageiros; gestão do tráfego; pedágio urbano; sistemas inteligentes de transportes, dentre outros,

passaram a figurar na vanguarda das discussões envolvendo transportes urbanos “versus” preocupações ambientais e sociais. Tais tem sido pauta de discussões e debates por dirigentes do setor, com o objetivo de apresentar soluções para a melhoria do trânsito e qualidade de vida dos moradores das grandes cidades. Desse modo, os métodos quantitativos e estatísticos aplicados ao transporte são apresentados como contributo à questão, uma vez que traduzem em números informações e opiniões que podem ser muito úteis na compreensão de eventos, fatos e processos relacionados ao transporte, contribuindo indiretamente para ganhos em eficiência, segurança, atratividade ao passageiro, qualidade de vida e redução de impactos ambientais.

A escolha do tema, métodos quantitativos e estatísticos em transporte, nesse caso, associado à problemática das emissões de gases poluentes, decorre da necessidade de se monitorar a qualidade do ar, principalmente nas grandes cidades, como forma de contribuir para o melhor gerenciamento de programas de controle de emissões.

As metodologias disponíveis para estimativas de emissões não resolvem o problema das emissões propriamente dito, porém, contribuem significativamente para o delineamento de políticas que serão adotadas pelas autoridades competentes. Como quem não mede não gerencia e quem não gerencia não melhora, entende-se que tão importante quanto ter políticas e programas de controle da qualidade do ar é dispor de métodos que auxiliem os gestores do transporte na estimativa destas emissões de poluentes.

Assim, justifica-se a importância desta pesquisa, uma vez que se pode utilizá-la como instrumento para implementação de ações pertinentes a melhoria da qualidade do ar e do transporte público, desde que seja caracterizada de forma adequada em todas as suas dimensões – demanda, oferta, acessibilidade, inclusão social, respeito ao meio ambiente, desenvolvimento urbano e econômico.

1.4 CONTRIBUIÇÕES

Este trabalho tem por contribuição apresentar modelos matemáticos para estimativas de emissões de poluentes de origem veicular. As técnicas aqui apresentadas e as fontes utilizadas podem ser aplicadas para a quantificação de poluentes de origem veiculares em outras cidades do país, contribuindo assim, ainda que indiretamente,

para a melhoria da qualidade do ar através do monitoramento das emissões de veículos automotores.

1.5 METODOLOGIA

Nesta seção estão apresentadas a caracterização do estudo e as etapas da pesquisa desenvolvida nesta dissertação.

Para Ramos e Ramos (2005, p. 37), “Pesquisa é um conjunto de ações, propostas para encontrar a solução para um problema, que têm por base procedimentos racionais e sistemáticos”. Pesquisar significa, de forma bem simples, procurar respostas para indagações propostas.

Existem várias formas de classificar as pesquisas. Esta será classificada segundo os critérios apresentados na Figura 1.1: natureza; abordagem do problema; procedimentos técnicos e objetivos da pesquisa.

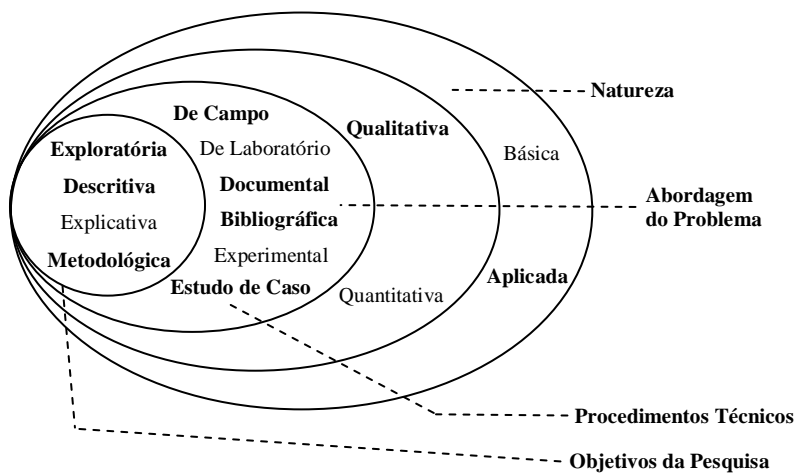


Figura 1.1 – Delineamento da pesquisa.

Fonte: Adaptado com modificações de Saunders; Lewis; Thornhill (2003).

1.5.1 Classificação da Pesquisa

1.5.1.1 – Natureza

Quanto à natureza, uma pesquisa pode ser básica ou aplicada. Esta pesquisa será **Aplicada**, pois objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos.

1.5.1.2 – Abordagem do problema

Com relação à abordagem do problema a pesquisa será caracterizada como **Qualitativa**, já que tem como propósito a descrição das qualidades de um fenômeno – a emissão de poluentes veiculares.

1.5.1.3 – Procedimentos técnicos

Quanto aos procedimentos técnicos, uma pesquisa poderá ser classificada em: de campo; de laboratório; documental; bibliográfica; experimental e estudo de caso. Esta pesquisa será caracterizada como:

1. **Documental**, desenvolvida a partir de documentos tais como manuais, relatórios, anuários e estatísticas.
2. **Bibliográfica**, fundamentada em leitura, análise e interpretação de livros e periódicos científicos. Esta pesquisa é desenvolvida com base nas contribuições de diversos autores que trabalharam com a problemática das emissões veiculares como objeto de estudo.
3. **De campo**, baseada na coleta, análise e interpretação de dados com base numa fundamentação teórica consistente.
4. **Estudo de caso**, já que objetiva ampliar e detalhar o objeto de pesquisa através de um estudo aprofundado na cidade de São Luís (MA).

1.5.1.4 – Objetivos da pesquisa

Quanto aos objetivos da pesquisa, a pesquisa será **Exploratória, Metodológica e Descritiva**, ou seja, é realizada em área que há pouco conhecimento sistematizado; é orientada para a análise de métodos e técnicas da produção científica – os modelos de emissão; e expõe características de uma população.

1.5.2 Etapas da Pesquisa

Esta pesquisa, pretendendo atender aos objetivos propostos, conterá quatro etapas metodológicas bem definidas detalhadas a seguir:

1ª Etapa – Revisão Bibliográfica: etapa de levantamento bibliográfico em que foram adquiridos os conhecimentos sobre o objeto da pesquisa com o intuito de fundamentar a base teórica para o desenvolvimento e execução da pesquisa. São abordados conceitos e assuntos como: poluição do ar, emissões veiculares, tipos de emissões, formação dos principais gases veiculares e programas de controle de emissões veiculares.

2ª Etapa – Definição da Metodologia: etapa da pesquisa que consiste no levantamento bibliográfico e documental das principais técnicas e métodos para o desenvolvimento de um inventário de emissões veiculares. É apresentada a metodologia básica para estimação das emissões, bem como, alguns dos principais modelos utilizados no mundo.

3ª Etapa – Aplicação da Metodologia: etapa do estudo de caso que consiste na aplicação de uma metodologia para estimação das emissões originadas de veículos leves na cidade de São Luís.

4ª Etapa – Resultados e Conclusões: etapa em que é obtido o quantitativo das emissões de monóxido de carbono, óxido de nitrogênio, hidrocarbonetos e aldeídos. Nesta etapa é examinada a eficácia do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores para redução das emissões em São Luís (MA).

1.6 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO

Quando se trata de quantificar as emissões de origem veicular, vários são os fatores que influem nos níveis de emissões de poluentes. Este trabalho adota uma metodologia macroscópica¹, que apresenta pouco nível de detalhes e variáveis agregadas. A metodologia utilizada para cálculos e estimativas das emissões veiculares não considera variações de temperatura, velocidade, acelerações, potência de motor, uso de ar condicionado e outras variáveis importantes dentro do processo de emissões veiculares.

A pesquisa considera as emissões originadas de veículos leves para três tipos de combustíveis: álcool, gasolina e bicomcombustíveis (flex). A participação destes combustíveis na frota de São Luís representa 99,9% do total de veículos em circulação. Veículos desenvolvidos para funcionarem com outros tipos de combustíveis, como o GNV e o Diesel, foram desconsiderados durante a análise.

Considerando as emissões de poluentes veiculares, esta pesquisa leva em consideração apenas as emissões decorrentes do processo de combustão - através da queima da mistura combustível-ar em motores de combustão interna. Desta forma, foram desconsideradas durante a análise, as emissões procedentes da evaporação de combustíveis e compostos orgânicos voláteis no interior dos veículos.

Neste estudo foram analisadas as emissões de quatro gases: monóxido de carbono, hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio – considerados os principais poluentes emitidos por veículos automotores; e o aldeído – poluente exclusivo da combustão do álcool e da gasolina brasileira que possui até 25% de álcool. Outros poluentes importantes dentro do processo de emissões veiculares, tais como o dióxido de carbono, os óxidos de enxofre, o chumbo, além de outros, não foram considerados na pesquisa.

Os fatores de emissões utilizados neste trabalho são baseados em medições realizadas em veículos de São Paulo e obtidos através do “Relatório de qualidade do ar no estado de São Paulo 2009”. Apesar da origem destas informações serem de outro município, acredita-se que as características da frota circulante na cidade de São Paulo se assemelhem mais às da frota de São Luís. Destarte, estes dados são mais adequados

¹ Modelos macroscópicos apresentam baixo nível de detalhamento. Para Portugal (2005): “Tal enfoque apresenta uma vantagem computacional sob o ponto de vista de espaço para memória e velocidade de execução, porém os modelos não menos flexíveis e pouco detalhados”.

que informações de emissões veiculares originadas de outros países como os Estados Unidos e os países europeus.

Como os fatores de emissões são referentes a veículos novos, estes, devem sofrer correções, através de fatores de deterioração, de modo a apresentarem resultados mais realísticos. Os fatores de deterioração expressam a variação das emissões de poluentes em função do uso de um veículo. Infelizmente no Brasil não foi desenvolvida nenhuma metodologia que represente a deterioração da frota nacional. Portanto, ainda que de modo conservador, foi utilizado neste trabalho fatores de deterioração desenvolvidos pela EPA/USA para a frota americana, e que, ainda que seja a metodologia mais aceita para cálculos dos fatores de deterioração, pode não representar na prática a deterioração da frota maranhense.

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

O primeiro capítulo trata da caracterização da pesquisa, com a apresentação do tema, definição do por que desse estudo, bem como dos objetivos preteridos e da metodologia utilizada.

O segundo capítulo apresenta uma revisão bibliográfica que contempla os seguintes tópicos: origem do problema; formação das emissões veiculares e principais compostos emitidos pelos veículos.

O terceiro capítulo apresenta o Programa de Controle das Emissões Veiculares (PROCONVE) instituído pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, em 1986, em âmbito nacional, para redução gradual da emissão de poluentes para veículos leves (automóveis) e para veículos pesados (ônibus e caminhões).

O quarto capítulo apresenta uma visão geral do processo de desenvolvimento de um inventário de emissões veiculares e os principais modelos empregados na elaboração de um inventário de emissões veiculares. Neste capítulo são descritas algumas generalidades de quatro modelos comumente utilizados em diferentes regiões do mundo: MOBILE, MOVES, IVE e COPERT.

O quinto capítulo apresenta um estudo de caso onde é feita a estimativa das emissões originadas de veículos leves na cidade de São Luís para o ano de 2010 e examina as consequências e efeitos do PROCONVE sobre as emissões de poluentes atmosféricos na Região Metropolitana de São Luís.

2 EMISSÕES VEICULARES – UMA VISÃO GERAL

A poluição atmosférica caracteriza-se basicamente pela presença de gases tóxicos e partículas sólidas no ar. As principais causas desse fenômeno são as eliminações de resíduos provenientes de fontes estacionárias² (indústrias, incineradores, etc.) e fontes móveis³ (veículos automotores) combinadas a fatores, tais como: clima; geografia; ocupação do solo; distribuição e tipologia das fontes; condições de emissão; e dispersão local dos poluentes (HENINGER; SHAH, 1998; NAZELLE, 2010).

Para Bluett, Dey e Fisher (2008), as altas concentrações de poluentes ocasionam sérios problemas de saúde, especialmente doenças respiratórias e irritações nos olhos e nariz em crianças e adultos. Esses problemas de saúde causados pela poluição dos carros tem custos diretos na rede de saúde pública.

De maneira isolada, as emissões individuais dos automóveis são inexpressíveis se comparadas com uma única fonte estacionária. No entanto, uma vez que o número de veículos a motor no país é grande, as emissões combinadas são significativas (AHN, 1998).

Pesquisas e indicadores brasileiros sobre desenvolvimento e sustentabilidade, divulgadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), demonstraram que a principal causa da poluição atmosférica no país são as emissões de gases procedentes dos automóveis (IBGE, 2010).

De acordo com o IBGE (2010), no período de 2002 a 2010, a emissão de poluentes pelas fábricas brasileiras diminuiu, enquanto a emissão de gás carbônico pela frota de veículos no Brasil cresceu consideravelmente.

Ainda segundo o Instituto, as queimadas de cana de açúcar em Minas Gerais, São Paulo e no Nordeste e das matas no Centro-Oeste e Norte do Brasil, aliado a crescente frota de veículos são os principais responsáveis pela emissão de poluentes no Brasil.

Preocupado com a poluição causada pelos carros, o governo brasileiro lançou há alguns anos o PROCONVE (Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores), um programa que tem

² Emissões provenientes de fontes fixas, como centrais elétricas e termoelétricas, instalações de produção, incineradores, fornos industriais e domésticos, aparelhos de queima e fontes naturais como vulcões, incêndios florestais ou pântanos.

³ Emissões provenientes de fontes em movimento, como o tráfego rodoviário, aéreo, marítimo e fluvial.

como objetivo diminuir a emissão de poluentes dos veículos nacionais gradativamente, atendendo os acordos internacionais de preservação ambiental.

Para Jacondino (2005), a avaliação de qualquer medida que vise à redução do nível das emissões veiculares passa, obrigatoriamente, pelo completo entendimento do mecanismo de formação destas emissões.

2.1 FORMAÇÕES DAS EMISSÕES VEICULARES

As emissões dos veículos são distribuídas entre duas categorias: emissões de combustão ou do tubo de escape e emissões evaporativas ou da evaporação do combustível.

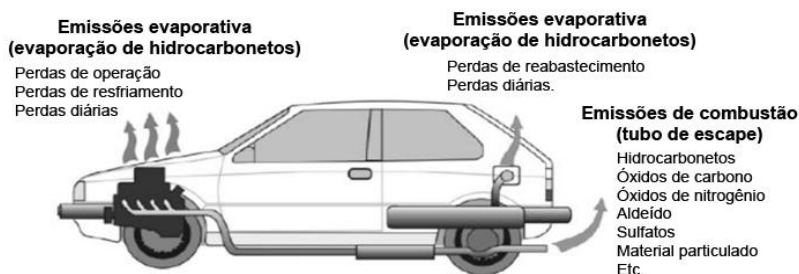


Figura 2.1 – Diferentes tipos de emissões.
 Fonte: Adaptado de INE-SEMARNAT (2005).

Características do processo de formação das duas fontes de emissões veiculares são apresentadas a seguir.

2.1.1 Emissões de combustão

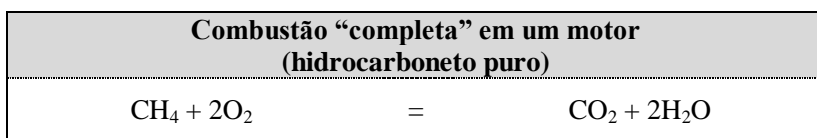
A força de mover um carro vem da queima de combustível em um motor (EPA, 1994). Combustíveis e biocombustíveis, como a gasolina, o álcool, o gás natural e o diesel, são constituídos de hidrocarbonetos – compostos químicos formados por átomos de carbono e hidrogênio.

A combustão é responsável pela maioria das emissões, consequência de gases e material particulado liberados quando os

combustíveis são queimados. Atualmente, os maiores esforços de controle de poluição, tanto legislativo quanto técnico, são associados ao processo de combustão.

Combustão é uma reação química exotérmica⁴ entre uma substância (o combustível) e um gás (o comburente), geralmente o oxigênio, com a finalidade de liberar calor (energia).

Em uma combustão completa “perfeita”, o oxigênio do ar transforma todo o hidrogênio do combustível em água e todo o carbono em dióxido de carbono, enquanto que, o nitrogênio no ar permanece inalterado (HEI, 2010).



Quadro 2.1 – Combustão completa em um motor (hidrocarboneto puro).

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Carageorgos (2010).

Infelizmente, a combustão completa é impossível de ser alcançada em situações normais, a menos que a reação ocorra em situações cuidadosamente controladas, como, por exemplo, em laboratórios. O resultado é a produção de um grande número de poluentes como subprodutos do processo de combustão (AGRAWAL, 2006; TAYLOR, 1985).

Estes poluentes são resultados do processo de combustão incompleto, que ocorre principalmente devido às características de temperatura no motor e do comburente associado (ar atmosférico).

Ocorre que se não há oxigênio suficiente disponível e se a temperatura não for suficientemente alta, forma-se monóxido de carbono (CO) ao invés de dióxido de carbono (CO₂). Como resultado, parte do combustível não será totalmente queimado, havendo assim a emissão de vários hidrocarbonetos parcialmente comburados.

Outro ponto importante é que a maioria das combustões é com ar e não com oxigênio puro, e o ar é 78% nitrogênio e 21% oxigênio. Quando a temperatura da combustão é muito alta, parte do nitrogênio presente no ar reage com o oxigênio para formar os óxidos de nitrogênio.

Assim, a combustão incompleta de um combustível pode ser representada por:

⁴ A reação exotérmica é uma reação química que libera calor (energia) do seu interior para o exterior.

Combustão “incompleta” em um motor (hidrocarboneto puro)		
$\text{CH}_4 + \text{Ar} (\text{N}_2 + \text{O}_2)$	=	Principalmente ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$) + Traços de ($\text{CO} + \text{HC} + \text{NO}_x$)

Quadro 2.2 – Combustão incompleta em um motor (hidrocarboneto puro).

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Carageorgos (2010).

O processo da combustão incompleta em um motor é o maior responsável pelas emissões de hidrocarbonetos (HC), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2) e óxidos de nitrogênio (NO e NO_2) - considerados os principais poluentes emitidos por veículos automotores.

Para agravar ainda mais o problema da poluição, a maioria dos combustíveis veiculares, tais como gasolina e diesel, não são hidrocarbonetos puros. Atualmente os principais combustíveis são constituídos basicamente por hidrocarbonetos e, em menor quantidade, por nitrogênio, enxofre, chumbo e outros materiais não combustíveis chamados de cinzas. A queima dessas “impurezas” libera poluentes como: óxidos de enxofre (SO_x), chumbo (Pb), material particulado e cinzas.

Numa visão mais real, uma descrição qualitativa da combustão envolvendo os efeitos combinados de combustão incompleta, combustão no ar e combustão de hidrocarbonetos misturados, seria como a seguir:

Combustão “incompleta” em um motor (hidrocarbonetos misturados)		
Combustível (H, C, S, N, Pb, cinza) + Ar ($\text{N}_2 + \text{O}_2$)	=	Emissões (CO_2 , H_2O , CO, NO_x , SO_x , Pb e particulados) + cinza

Quadro 2.3 – Combustão incompleta em um motor (hidrocarbonetos mistos).

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Carageorgos (2010).

Tornando a situação mais realista possível, tem-se que a problemática das emissões não se limita aos poluentes “primários”, emitidos diretamente pelos veículos automotores, há também a existência de poluentes “secundários”, formados na atmosfera através da reação química entre poluentes primários e componentes naturais da atmosfera.

Compostos orgânicos voláteis⁵, que vaporizam rapidamente, reagem com os óxidos de nitrogênio na presença da luz solar para formar o ozônio, que é um perigoso poluente que além de provocar problemas respiratórios e o *smog* (nevoeiro fotoquímico), também causa irritações dos olhos e danifica os tecidos pulmonares.

Nevoeiro fotoquímico (smog)	
COV's + NO _x + Luz solar	= Fumaça fotoquímica (O ₃ – Ozônio)

Quadro 2.4 – Formação do Ozônio.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Carageorgos (2010).

As reações apresentadas são simplificadas, mas introduzem os principais ‘jogadores’ na poluição do ar atmosférico: HC, CO, CO₂, NO_x, SO_x, Pb, O₃, material particulado e cinzas.

2.1.2 Emissões evaporativas

Para NRC (2000), as emissões de poluentes são geradas pela queima da mistura combustível-ar em motores de combustão interna e pela evaporação do combustível no interior do veículo quando este está em movimento, parado ou em abastecimento.

As emissões evaporativas são formadas a partir da evaporação do combustível. Estas são compostas basicamente por hidrocarbonetos (HC) e compostos orgânicos voláteis (COVs) e tem a sua formação vinculada à variação de temperatura no motor e ao longo do dia (EPA, 1994).

O Quadro 2.5 lista os quatro tipos de emissões evaporativas em conjunto com o seu processo de formação.

⁵ São compostos orgânicos que possuem alta pressão de vapor sob condições normais a tal ponto de vaporizar significativamente e entrar na atmosfera. Uma grande variedade de moléculas a base de carbono, tais como aldeídos, cetonas, e outros hidrocarbonetos leves são COVs.

Categoria	Processo de Formação
Perdas de operação	Ocorrem durante a operação do motor. O motor quente e o sistema de escape podem vaporizar o combustível, enquanto o veículo está em operação.
Perdas de resfriamento	Ocorrem durante o resfriamento do motor após o seu desligamento. O motor continua quente por um período de tempo, assim, a evaporação do combustível continua quando o carro está estacionado, enquanto esfriando.
Perdas diárias	Mesmo quando o veículo está estacionado durante longos períodos de tempo, ocorre a evaporação do combustível devido as variações de temperatura ao longo do dia.
Perdas de reabastecimento	Ocorrem quando vapores de combustível escapam do tanque do veículo, enquanto este está sendo abastecido.

Quadro 2.5 – Categoria das emissões evaporativas.

Fonte: EPA (1994); Jacondino (2005).

2.2 COMPOSTOS EMITIDOS PELOS VEÍCULOS

Como apresentado, os poluentes de origem veicular surgem como subprodutos do processo de combustão e da evaporação do combustível (EPA, 1994).

Considera-se poluente qualquer substância presente no ar e que, pela sua concentração, possa torná-lo impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, causando inconveniente ao bem estar público, danos aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade. (CETESB, 2010).

A seguir são apresentados os principais poluentes de origem veicular, bem como seus efeitos sobre a saúde, o meio ambiente e o clima.

2.2.1 Monóxido de carbono

O monóxido de carbono (CO) é um gás levemente inflamável, incolor, inodoro e tóxico, produto da combustão incompleta do motor pela queima de combustíveis em condições de pouco oxigênio (EPA, 1994; CETESB, 2010).

Monóxido de carbono	
Efeitos sobre a saúde	Reduz a quantidade de oxigênio que chega aos órgãos do corpo e dos tecidos e agrava doenças cardíacas, resultando em dor no peito e outros sintomas.
Efeitos ambientais e climáticos	Contribui para a formação de CO ₂ , gás de efeito estufa que aquece a atmosfera.

Quadro 2.6 – Efeitos do monóxido de carbono.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em EPA (2010a); Zannin (2010).

2.2.2 Dióxido de carbono

O dióxido de carbono (CO₂) gás essencial a vida, liberado no processo de respiração dos seres humanos e também na queima dos combustíveis fósseis – é produto da combustão completa.

Dióxido de carbono	
Efeitos sobre a saúde	Não é prejudicial à saúde humana.
Efeitos ambientais e climáticos	Considerado o principal gás do efeito estufa, contribui para o aquecimento global e mudanças climáticas.

Quadro 2.7 – Efeitos do dióxido de carbono.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em EPA (2010a); Rocha (2010).

2.2.3 Hidrocarboneto

Os hidrocarbonetos (HC) são gases e vapores resultantes da queima incompleta e da evaporação de combustíveis e de outros produtos orgânicos voláteis. Este gás reage com os óxidos de nitrogênio e com a luz solar para formar o ozônio – perigoso poluente formado na atmosfera.

Hidrocarboneto	
Efeitos sobre a saúde	Representam risco à saúde humana, pois alguns são comprovadamente cancerígenos.
Efeitos ambientais e climáticos	Contribui para a formação do ozônio, gás de efeito estufa que aquece a atmosfera.

Quadro 2.8 – Efeitos do hidrocarboneto.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em EPA (2010a); Lopes (2008).

2.2.4 Óxidos de nitrogênio

Os óxidos de nitrogênio (NO_x) são produtos da combustão incompleta de combustíveis em um motor. Estes são formados pela reação de átomos de nitrogênio e oxigênio as altas pressões ou temperaturas. Os NO_x podem se converter em ácido nítrico, formando as chuvas ácidas, ou reagir formando o ozônio nas metrópoles poluídas (nevoeiro fotoquímico).

Óxidos de nitrogênio	
Efeitos sobre a saúde	Provoca doenças pulmonares e aumenta a susceptibilidade à infecção respiratória.
Efeitos ambientais e climáticos	Contribui para a acidificação e o enriquecimento de nutrientes do solo e das águas (fenômeno conhecido como eutrofização – que abaixa os níveis de oxigênio na água e pode provocar a morte de diversas espécies animais e vegetais).

Quadro 2.9 – Efeitos dos óxidos de nitrogênio.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em EPA(2010a); Zannin (2010).

2.2.5 Dióxido de enxofre

Resulta principalmente da queima de combustíveis que contém enxofre, como óleo diesel, óleo combustível industrial e gasolina. É um dos principais formadores da chuva ácida. O dióxido de enxofre pode reagir com outras substâncias presentes no ar formando partículas de sulfato que são responsáveis pela redução da visibilidade na atmosfera.

Dióxido de enxofre	
Efeitos sobre a saúde	Agrava a asma, leva à tosse, chiado no peito e falta de ar, aumenta o consumo de medicamentos, internações e atendimentos.
Efeitos ambientais e climáticos	Contribui para a acidificação do solo e das águas e metilação de mercúrio em zonas úmidas. Causa danos à vegetação e as perdas de espécies locais em sistemas aquáticos e terrestres. Contribui para a formação de partículas associadas com os efeitos ambientais. As partículas de sulfato contribuem para o resfriamento da atmosfera.

Quadro 2.10 – Efeitos do enxofre.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em EPA (2010a).

2.2.6 Ozônio

Usualmente o ozônio (O_3) não é emitido diretamente pelas fontes de emissão. O O_3 é um poluente secundário, ou seja, formado na atmosfera através de reações químicas entre poluentes primários e componentes naturais da atmosfera. Desta forma, o ozônio é criado por reações fotoquímicas complexas que envolvem principalmente óxidos de nitrogênio, oxigênio e hidrocarbonetos na presença da luz do sol. O ozônio é benéfico em camadas mais altas da atmosfera bloqueando parte da radiação ultravioleta. Entretanto, em camadas mais baixas provoca problemas de saúde, tais como inflamação nos olhos, problemas respiratórios crônicos e pulmonares.

Ozônio	
Efeitos sobre a saúde	Irritação nos olhos e vias respiratórias e diminuição da capacidade pulmonar. A exposição a altas concentrações pode resultar em sensações de aperto no peito, tosse e chiado na respiração.
Efeitos ambientais e climáticos	Danos às colheitas, à vegetação natural e as plantações agrícolas.

Quadro 2.11 – Efeitos do ozônio.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em EPA (2010a).

2.2.7 Compostos orgânicos voláteis

Compostos orgânicos voláteis (COVs) são compostos orgânicos que possuem alta pressão de vapor sob condições normais a ponto de vaporizar rapidamente e entrar na atmosfera. Uma grande variedade de moléculas a base de carbono, tais como aldeídos, cetonas, e outros hidrocarbonetos leves são COVs.

Compostos orgânicos voláteis	
Efeitos sobre a saúde	Alguns são poluentes tóxicos do ar e causam câncer e outros problemas de saúde graves.
Efeitos ambientais e climáticos	Contribui para a formação de CO ₂ e ozônio, gases de efeito estufa.

Quadro 2.12 – Efeitos dos compostos orgânicos voláteis.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em EPA (2010a).

2.2.8 Chumbo

A emissão de chumbo (Pb) ocorre em motores abastecidos com gasolina que contém este metal pesado na sua composição.

Chumbo	
Efeitos sobre a saúde	Danifica o sistema nervoso em desenvolvimento, resultando em perda de QI e impactos na aprendizagem, memória e comportamento em crianças. Efeitos cardiovasculares e renais em adultos e efeitos precoces relacionadas à anemia.
Efeitos ambientais e climáticos	Causa danos em plantas e animais, se acumula nos solos e impacta negativamente os sistemas terrestres e aquáticos.

Quadro 2.13 – Efeitos do chumbo.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em EPA (2010a).

2.2.9 Material particulado

O material particulado (MP) consiste de substâncias sólidas ou líquidas (partículas não queimadas de carbono do combustível) expelidas pela descarga dos motores ou levantadas pelo deslocamento de veículos.

Material particulado	
Efeitos sobre a saúde	Exposição de curta duração pode agravar doenças cardíacas e/ou pulmonares; exposição a longo prazo podem levar ao desenvolvimento de doenças cardíacas e/ou pulmonares e mortalidade prematura.
Efeitos ambientais e climáticos	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo.

Quadro 2.14 – Efeitos do material particulado.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em EPA (2010a).

2.2.10 Aldeído

O aldeído (RCHO) é um produto exclusivo da combustão do álcool e da gasolina brasileira, que possui até 25% de álcool. São produtos da combustão incompleta de gasolina e álcool no motor, principalmente devido à oxidação incompleta de hidrocarbonetos, extinção da chama e combustão lenta a baixas temperaturas.

Aldeído	
Efeitos sobre a saúde	Irritação dos olhos, nariz, garganta e pele, mutagênico e carcinogênico suspeito.
Efeitos ambientais e climáticos	São precursores do Ozônio (O ₃) na baixa atmosfera, isto é, no ar que diretamente respiramos.

Quadro 2.15 – Efeitos do aldeído.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em EPA (2010a).

O capítulo a seguir apresenta o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), instituído pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, em 1986, em âmbito nacional, para redução gradual das emissões de poluentes para veículos leves (automóveis) e para veículos pesados (ônibus e caminhões).

3 PROGRAMA DE CONTROLE DA POLUIÇÃO DO AR POR VEÍCULOS AUTOMOTORES

O mercado automotivo brasileiro vive um momento de grande desempenho, de acordo com o anuário 2009 da Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores – FENABRAVE (2009), o Brasil é hoje o quinto maior mercado consumidor de automóveis do mundo, com aproximadamente 3,14 milhões de unidades vendidas em 2009, e o sexto maior produtor de automóveis, com aproximadamente 3,18 milhões de unidades produzidas em 2009. O aumento da motorização individual no Brasil tem intensificado o tráfego de veículos nos grandes centros urbanos. Além de causar congestionamentos constantes, o crescimento do número de veículos causa degradação ambiental, devido à poluição sonora e do ar. De acordo com a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores – ANFAVEA (2010), a frota nacional de veículos em circulação cresceu aproximadamente 63% em 10 anos: de 18,68 milhões em 1999 para 29,64 milhões em 2009, sendo deste total, 27,54 milhões veículos automotores leves. Verificado este aumento da quantidade de veículos em circulação, compreende-se a importância que estes têm no acréscimo da poluição do ar e seus impactos inerentes, pois, segundo a CETESB (1997), a poluição do ar nos centros urbanos e a quantidade de veículos em circulação são diretamente proporcionais.

Com o objetivo de reduzir e controlar a contaminação atmosférica por fontes móveis (veículos automotores) o Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA criou, em 1986, os Programas de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores: PROCONVE (automóveis) e PROMOT (motocicletas), fixando prazos, limites máximos de emissão e estabelecendo exigências tecnológicas para veículos automotores, nacionais e importados.

O PROCONVE estabelece um cronograma de redução gradual da emissão de poluentes para veículos leves (automóveis) e para veículos pesados (ônibus e caminhões). Baseado na experiência internacional, o Programa tem como principal meta a redução da contaminação atmosférica procedentes de veículos automotores, através da fixação dos limites máximos de emissão, induzindo o desenvolvimento tecnológico dos fabricantes e estabelecendo exigências tecnológicas para veículos, cuja comprovação é feita através de ensaios padronizados. (IBAMA, 2004).

A Resolução CONAMA nº 18, de 6 de maio de 1986 – posteriormente complementada por outras resoluções e instruções normativas – institui, em caráter nacional, o Programa de Controle de Poluição do Ar por veículos Automotores – PROCONVE, com os objetivos de (BRASIL, 1986):

1. Reduzir os níveis de emissão de poluentes por veículos automotores visando o atendimento aos Padrões de Qualidade do Ar, especialmente nos centros urbanos;
2. Promover o desenvolvimento tecnológico nacional, tanto na engenharia automobilística, como também em métodos e equipamentos para ensaios e medições da emissão de poluentes;
3. Criar programas de inspeção e manutenção para veículos automotores em uso;
4. Promover a conscientização da população com relação à questão da poluição do ar por veículos automotores;
5. Estabelecer condições de avaliação dos resultados alcançados;
6. Promover a melhoria das características técnicas dos combustíveis líquidos, postos à disposição da frota nacional de veículos automotores, visando à redução de emissões poluidoras à atmosfera.

O PROCONVE, como parte integrante da Política Nacional de Meio Ambiente, determina que os fabricantes de motores e veículos automotores e os fabricantes de combustíveis ficam obrigados a tomar as providências necessárias para reduzir os níveis de emissão de monóxido de carbono, óxido de nitrogênio, hidrocarbonetos, alcoóis, aldeídos, fuligem, material particulado e outros compostos poluentes nos veículos comercializados no País, enquadrando-se aos limites fixados nesta lei e respeitando, ainda, os prazos nela estabelecidos (BRASIL, 1986).

Baseado na experiência internacional, o PROCONVE exige que os veículos e motores novos atendam a limites máximos de emissão em ensaios padronizados e com combustíveis de referência, induzindo o desenvolvimento tecnológico dos fabricantes e estabelecendo exigências tecnológicas para veículos, cuja comprovação é feita através de ensaios padronizados. O programa impõe ainda, a certificação de protótipos e veículos da produção, a autorização especial do órgão ambiental federal para uso de combustíveis alternativos, o recolhimento e reparo dos veículos ou motores encontrados em desconformidade com a produção

ou projeto, e proíbe a comercialização de modelos de veículos não homologados segundo seus critérios (IBAMA, 2004).

A seguir são transcritas algumas peculiaridades do PROCONVE, tais como a estratégia, a caracterização e os resultados alcançados, até então, com a implantação do programa.

Estas informações podem ser encontradas no site do IBAMA, endereço: <http://www.ibama.gov.br/qualidade-ambiental/proconve/>, e no Manual de Regulamentos do PROCONVE/PROMOT, Volume 1 e 2.

3.1 ESTRATÉGIA

3.1.1 Homologação de protótipo

Para o IBAMA (2004) a estratégia da homologação de protótipo, nada mais é do que:

[...] a comprovação de que os fabricantes/importadores aplicam conceitos de projeto que asseguram um baixo potencial poluidor aos veículos novos e uma baixa taxa de deterioração das emissões ao longo da sua vida útil. Tal comprovação se dá através da análise técnica das especificações de engenharia e resultados de ensaio.

O IBAMA, considerando a necessidade de contínua atualização dos procedimentos, bem como a complementação de seus procedimentos de execução, resolve instituir o Selo de Homologação do PROCONVE/PROMOT, para o atendimento, pelos fabricantes e importadores de veículos automotores, da Resolução CONAMA nº 18, de 6 de maio de 1986 (IBAMA, 2004).

3.1.2 Controle de produção/importação

Para o IBAMA (2004), trata-se do “acompanhamento estatístico das linhas de produção/importação, de veículos, motores e peças de

reposição, para assegurar uma baixa dispersão dos índices de emissão dos veículos”.

Este acompanhamento é realizado com fabricantes e importadores de veículos e com fornecedores de peças automotivas que tenham relação direta ou indireta com as emissões de poluentes na atmosfera, tais como os componentes de um motor. Este acompanhamento estatístico tem como objetivo assegurar o cumprimento dos limites máximos estabelecidos em lei para emissões de gases poluentes.

Os veículos e peças automotivas serão avaliados por amostragem. Caso os resultados não estejam de acordo com os limites específicos em lei, o fabricante/importador ou fornecedor será inicialmente notificado por escrito, e no caso de reincidência, impedidos de comercializar seus produtos em não conformidade.

3.1.3 Responsabilidade do fabricante/importador

O fabricante/importador se responsabiliza pela fabricação/importação e comercialização de veículos, rigorosamente de acordo com as especificações por ele apresentadas e homologadas pelo IBAMA (IBAMA, 2004).

Tendo seu protótipo reconhecido pelo IBAMA, dentro das normas estabelecidas pelo PROCONVE, o fabricante/importador e os fornecedores de peças automotivas encontram-se estritamente vinculados aos projetos e protótipos homologados, devendo qualquer modificação ser submetida à autoridade competente para rehomologação.

3.1.4 Requisitos de manutenção

De acordo com o IBAMA (2004), o fabricante/importador deve recomendar ao usuário e ao serviço de assistência técnica, todas as ações e procedimentos de manutenção e regulação necessários ao atendimento e conservação dos limites máximos de emissão de poluentes fixados pelo PROCONVE/PROMOT, bem como prover o fornecimento de peças de reposição. O fabricante do veículo e/ou motor

deverá apresentar uma relação das peças, conjuntos e acessórios que exerçam influência significativa nas emissões do veículo.

Tais peças, conjuntos ou acessórios só poderão ser homologados pelo órgão competente e comercializados para reposição e manutenção em Território Nacional, se obedecerem às mesmas especificações do fabricante do veículo e/ou motor a que se destinam e tiverem a sua aprovação de controle de qualidade (IBAMA, 2004).

3.1.5 Controle pós-venda

Considerando o interesse ambiental no sentido dos veículos automotores incorporarem avanços tecnológicos de controle de emissões de poluentes, o mecanismo de controle pós-venda, permite a intervenção do órgão ambiental, IBAMA, na comercialização e uso de veículos de forma a pressionar os usuários e fabricantes a adotarem rigorosamente as medidas necessárias ao controle de poluição nos veículos (IBAMA, 2004).

3.2 CARACTERIZAÇÃO

O controle e o acompanhamento das emissões veiculares é realizado a partir da seguinte classificação de veículos automotores:

3.2.1 Veículo leve de passageiros (automóveis)

De acordo com a Resolução CONAMA nº 15, veículos leve de passageiros, são veículos automotores com massa total máxima autorizada até 3.856 kg e massa do veículo em ordem de marcha até 2.720 kg, projetado para o transporte de até 12 passageiros, ou seus derivados para o transporte de carga.

O controle de emissão destes veículos foi escalonado em fases e períodos correspondentes, conforme demonstrado na Figura 3.1 a seguir.

	Fase L-1 Início do controle das emissões; eliminação dos veículos mais poluentes.		Fase L-3 Melhorias das tecnologias disponíveis para a formação de mistura e controle eletrônico do motor.		Fase L-5 A prioridade desta fase, assim como a da fase L-4, é a redução das emissões de material particulado, hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio.	
< 1988	1998	1992	1997	2005	2009	2014
PRÉ- PROCONVE Nenhum controle das emissões veiculares	Fase L-2 Aplicação de tecnologias novas, tais como a injeção eletrônica ou carburadores assistidos eletronicamente e os conversores catalíticos para redução de emissões.		Fase L-4 A prioridade desta fase é a redução das emissões de material particulado, hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio.		Fase L-6 Esta fase visa principalmente às reduções das emissões de dióxido de carbono e aldeídos.	

Figura 3.1 – Fases do PROCONVE para veículos leve de passageiros.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em IBAMA (2004).

Fase Pré-PROCONVE, que corresponde ao período que antecede a implantação do programa, é caracterizada pela ausência de legislações específicas para o controle da poluição veicular.

Fase L-1, de 1988 a 1991, caracterizada pela eliminação dos modelos mais poluentes, marca o início do controle das emissões veiculares decorrentes do processo de combustão e da evaporação de combustíveis e compostos orgânicos voláteis.

Fase L-2, de 1992 a 1996, caracterizada pela aplicação de tecnologias novas, tais como a injeção eletrônica ou carburadores assistidos eletronicamente e os conversores catalíticos para redução de emissões, que usadas separadamente atendiam a fase de exigências.

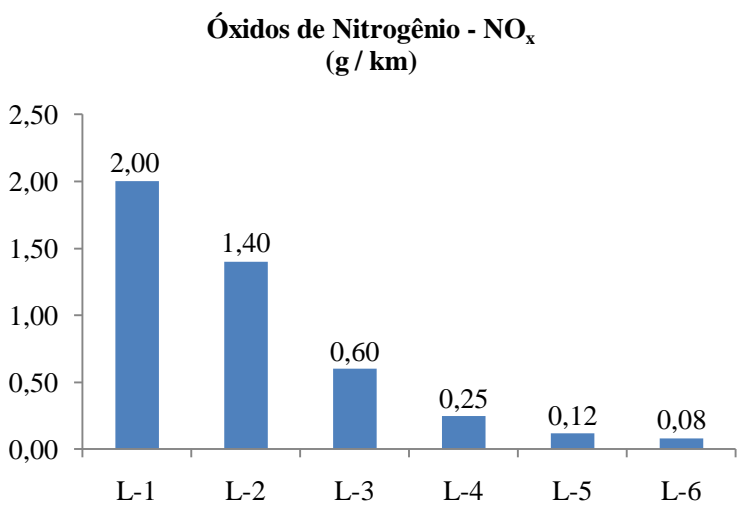
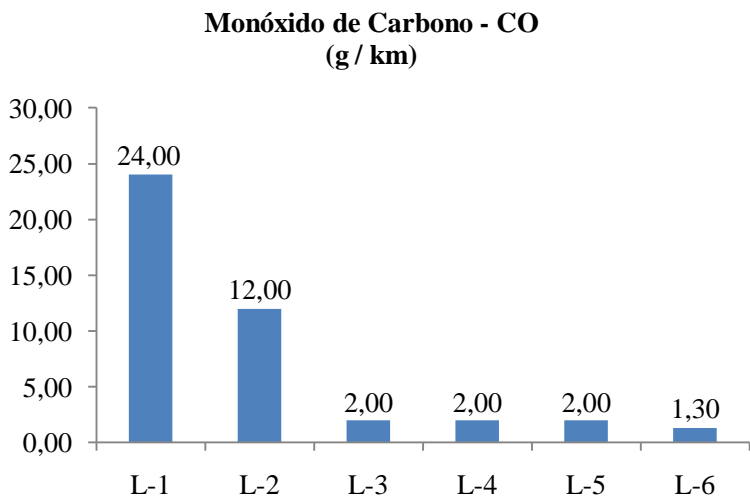
Fase L-3, de 1997 a 2004, caracterizada pela utilização de sensores de oxigênio e pelo avanço tecnológico para a formação de mistura e controle eletrônico do motor.

Fases L-4 e L-5, a prioridade nestas fases, que se iniciam em 2005, 2009, respectivamente, é a redução das emissões de material particulado, hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio, gases que reagem para a formação do ozônio.

Fase L-6, que inicia em 2014, prioriza a redução das emissões de dióxido de carbono, principal causador do efeito estufa, e de aldeídos, composto químico presente no álcool e na gasolina brasileira.

A indústria automobilística trabalha no desenvolvimento de motores para atender aos níveis da quarta e quinta fase por meio da melhoria da combustão. Para tanto, estão sendo adotadas novas tecnologias como a otimização da geometria da câmara de combustão e dos bicos, o aumento da pressão da bomba injetora e a injeção eletrônica. Para o futuro ainda está prevista a introdução de catalisadores de oxidação, de filtro de particulados e de recirculação de gases (INEA, 2010).

A Figura 3.2 e a Tabela 3.1 apresentam a evolução dos limites de emissão de poluentes de acordo com as fases do PROCONVE.



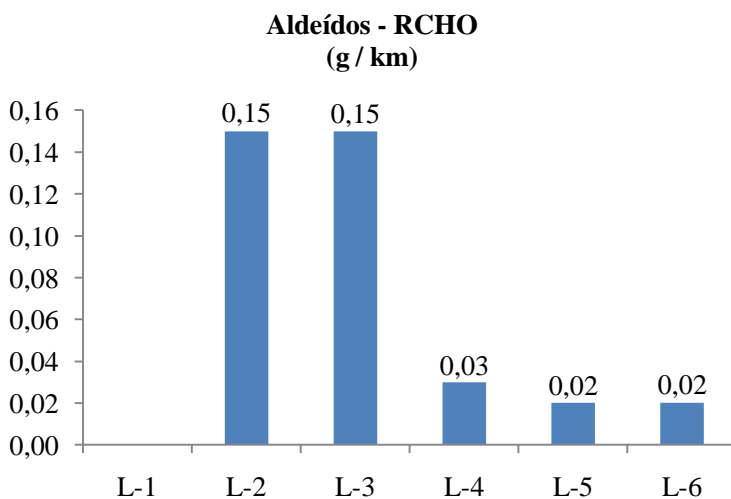
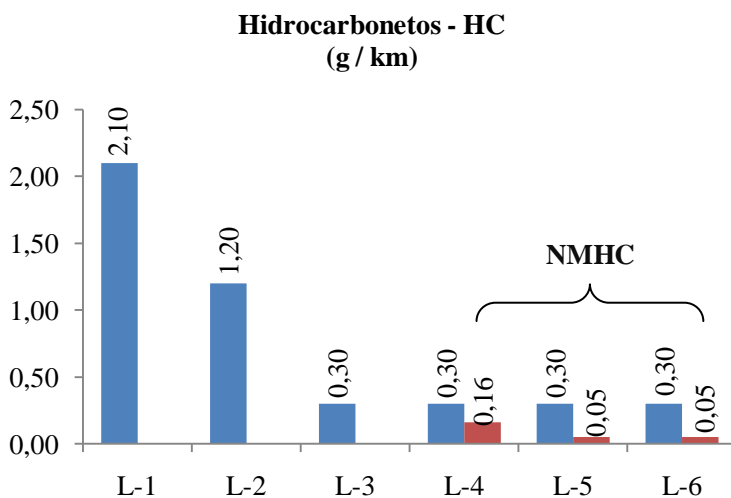


Figura 3.2 – Gráfico de emissão de poluentes segundo fases do PROCONVE.
Fonte: INEA (2010).

Tabela 3.1 – Limites máximos de emissão para veículos leves de passageiros

Categ.	Modelo	Combust.	Ciclo de Teste	FASE	Ano	LIMITES						
						CO (g/km)	HC (g/km)	NMHC (g/km)	NO _x (g/km)	Aldeídos (g/km)	MP (g/km)	EVAP (g/teste)
Veículos Leves	Passageiros ou Derivados de Passageiros	Gasolina, Álcool, Diesel ou GNV	NBR-6601 (= EPA-75) ⁽¹⁾	L-1	1988	24	2,10	-	2,0	-	-	6
				L-2	1992	12	1,20	-	1,4	0,15	-	6
				L-3	1997	2	0,30	-	0,6	0,15	0,05	6
				L-4	2005	2	0,30 ⁽²⁾	0,16	0,25 ⁽³⁾ ou 0,60 ⁽⁴⁾	0,03	0,05	2
				L-5	2009	2	0,30 ⁽²⁾	0,05	0,12 ⁽³⁾ ou 0,25 ⁽⁴⁾	0,02	0,05	2
				L-6	2014	1,30	0,30 ⁽²⁾	0,05	0,08	0,02	0,025	1,5 ⁽³⁾⁽⁵⁾ (6)

FONTE: IBAMA (2004); IBAMA (2010).

NOTAS:

(1) Medições de acordo com a NBR6601 (US-FTP75), e conforme as Res. CONAMA n° 15/95 e n° 315/02.

(2) Aplicável somente a veículos movidos a GNV.

(3) Aplicável somente a veículos movidos a gasolina ou etanol.

(4) Aplicável somente a veículos movidos a óleo diesel.

(5) Aplicável aos ensaios realizados em câmara selada de volume variável.

(6) Aplicado a todos os veículos a partir de 1º/1/2012.

3.2.2 Veículo leve comercial (utilitários)

De acordo com a Resolução CONAMA nº 15, veículo leve comercial, é o veículo automotor não derivado de veículo leve de passageiros com massa total máxima até 3.856kg e massa do veículo em ordem de marcha até 2.720kg, projetado para o transporte de carga, ou misto ou seus derivados, ou projetado para o transporte de mais que 12 passageiros, ou ainda com características especiais para uso fora de estrada.

O controle da emissão de gases poluentes emitidos por estes veículos, pelo tubo de escape e decorrentes da evaporação de combustíveis e compostos orgânicos voláteis, iniciou-se em 1995 e continua com as fases L-5 e L-6 conforme apresentado na Tabela 3.2 e na Tabela 3.3.

Tabela 3.2 – Veículos Leves Comerciais – massa referência para ensaio menor que 1.700 kg

POLUENTES	LIMITES		
	Fase L-4 ⁽¹⁾	Fase L-5	Fase L-6 ⁽²⁾
	Desde 1/1/2005	Desde 1/1/2009	A partir de 1/1/2013
Monóxido de carbono (CO em g/km)	2,00	2,00	1,30
Hidrocarbonetos (HC em g/km)	0,30 ⁽³⁾	0,30 ⁽³⁾	0,30 ⁽³⁾
Hidrocarbonetos não metano (NMHC em g/km)	0,16	0,05	0,05
Óxidos de nitrogênio (NO _x em g/km)	0,25 ⁽⁴⁾ ou 0,60 ⁽⁵⁾	0,12 ⁽⁴⁾ ou 0,25 ⁽⁵⁾	0,08
Material particulado ⁽⁵⁾ (MP em g/km)	0,08	0,05	0,025
Aldeídos ⁽⁴⁾ (CHO g/km)	0,03	0,02	0,02
Emissão evaporativa (g/ensaio)	2,0	2,0	1,5 ⁽⁴⁾⁽⁷⁾ ou 2,0 ⁽⁴⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾

FONTE: IBAMA (2010).

NOTAS:

(1) Permanece em vigor nos anos de 2009, 2010, 2011 e 2012, somente para os veículos Diesel, por força de Termo de Ajustamento homologado pelo Juízo federal no estado de São Paulo.

- (2) Em 2013 -> Inicia para 100% dos veículos Diesel.
 A partir de 2014-> para os novos lançamentos de veículos do ciclo Otto.
 A partir de 2015 -> para todos os veículos comercializados.
- (3) Aplicável somente a veículos movidos a GNV.
- (4) Aplicável somente a veículos movidos a gasolina ou etanol.
- (5) Aplicável somente a veículos movidos a óleo diesel.
- (6) Aplicável aos ensaios realizados em câmara selada de volume variável.
- (7) Aplicável a todos os veículos a partir de 1º/1/2012.

**Tabela 3.3 – Veículos Leves Comerciais – massa referência
 para ensaio maior que 1.700 kg**

POLUENTES	LIMITES		
	Fase L-4 ⁽¹⁾	Fase L-5	Fase L-6 ⁽²⁾
	Desde 1/1/2005	Desde 1/1/2009	A partir de 1/1/2013
Monóxido de carbono (CO em g/km)	2,70	2,70	2,00
Hidrocarbonetos (HC em g/km)	0,50 ⁽³⁾	0,50	0,50 ⁽³⁾
Hidrocarbonetos não metano (NMHC em g/km)	0,20	0,06	0,06
Oxidos de nitrogênio (NO _x em g/km)	0,43 ⁽⁴⁾ ou 1,00 ⁽⁵⁾	0,25 ⁽⁴⁾ ou 0,43 ⁽⁵⁾	0,25 ou 0,35 ⁽⁵⁾
Material particulado ⁽⁵⁾ (MP em g/km)	0,10	0,06	0,04
Aldeídos ⁽⁴⁾ (CHO g/km)	0,06	0,04	0,03
Emissão evaporativa (g/ensaio)	2,0	2,0	1,5 ⁽⁴⁾⁽⁷⁾ ou 2,0 ⁽⁴⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾

FONTE: IBAMA (2010).

NOTAS:

- (1) Permanece em vigor nos anos de 2009, 2010, 2011 e 2012, somente para os veículos Diesel, por força de Termo de Ajustamento homologado pelo Juízo federal no estado de São Paulo
- (2) Em 2013 -> Inicia para 100% dos veículos Diesel;
 A partir de 2014-> para os novos lançamentos de veículos do ciclo Otto.
 A partir de 2015 -> para todos os veículos comercializados.
- (3) Aplicável somente a veículos movidos a GNV.
- (4) Aplicável somente a veículos movidos a gasolina ou etanol.
- (5) Aplicável somente a veículos movidos a óleo diesel.
- (6) Aplicável aos ensaios realizados em câmara selada de volume variável.
- (7) Aplicável a todos os veículos a partir de 1º/1/2012.

3.2.3 Veículo pesado (ônibus e caminhão)

De acordo com a Resolução CONAMA nº 15, veículo pesado, é o veículo automotor para o transporte de passageiros e/ou carga, com massa total máxima maior que 3.856kg ou massa do veículo em ordem de marcha maior que 2.720kg, projetado para o transporte de passageiros e/ou carga.

O controle das emissões de tubo de escape e evaporativas de veículos pesados teve início em 1993, com a introdução gradativa dos limites da Fase P-3 em 1994, P-4 em 1998, P-5 em 2004, P-6 em 2009 e da Fase P-7 prevista para 2012.

Em 1990, os fabricantes começaram a produzir motores com níveis de emissão menores que os requeridos para 1993, ano em que teve início o controle de emissões para veículos pesados, com a introdução das fases P-1 e P-2. Nesse período, os limites para emissões gasosas e materiais particulados não foram exigidos legalmente. Para atender aos limites da fase três (P-3), vigente a partir de 1994, o desenvolvimento de novos modelos de motores visaram a redução do consumo de combustível, aumento da potência e redução das emissões gasosas de óxidos de nitrogênio (NO_x) por meio da adoção de bombas injetora de alta pressão, intercooler e motores turbo. A fase P-4, de 1998, reduziu ainda mais os limites criados pela fase P-3. As fases P-5, P-6 e P-7 têm como principal objetivo a redução de emissões de material particulado, óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos. Para isso foram tomadas diversas medidas tais como a adoção de módulos eletrônicos, injeção eletrônica de altíssima pressão, sistema de pós tratamento dos gases de escapamento com SCR (*Selective Catalytic Reduction*) e injeção de uréia (INEA, 2010).

A Tabela 3.4, 3.5 e 3.6 apresenta os limites do PROCONVE para os veículos movidos a diesel e a Tabela 3.7 apresenta os limites para os veículos movidos a GNV.

Tabela 3.4 – Veículos Pesados – Ciclo Diesel – Convencional e com Pós-tratamento (Ciclo de testes ESC/ELR)

POLUENTES	LIMITES		
	Fase P-5 ⁽¹⁾	Fase P-6	Fase P-7
	Desde 1/1/2005	Desde 1/1/2009	A partir de 1/1/2012
Monóxido de carbono (CO em g/kW.h)	2,10	1,50	1,50
Hidrocarbonetos (HC em g/kW.h)	0,66	0,46	0,46
Óxidos de nitrogênio (NO _x em g/kW.h)	5,00	3,50	2,00
Material particulado (MP em g/kW.h)	0,10 ou 0,13 ⁽²⁾	0,02	0,02

FONTE: IBAMA (2010).

NOTAS:

(1) Permanece em vigor nos anos de 2009, 2010 e 2011 por força de Termo de Ajustamento homologado pelo Juízo Federal no estado de São Paulo.

(2) Aplicável somente a motores de cilindrada unitária inferior a 0,75 dm³ e rotação à potência nominal superior a 3000 m⁻¹.

Tabela 3.5 – Veículos Pesados – Ciclo Diesel – Convencional e Pós-tratamento (Ciclo de testes ETC)

POLUENTES	LIMITES		
	Fase P-5 ⁽¹⁾	Fase P-6	Fase P-7
	Desde 1/1/2004 ⁽²⁾	Desde 1/1/2009	A partir de 1/1/2012
Monóxido de carbono (CO em g/kW.h)	5,45	4,00	4,00
Hidrocarbonetos não metano (NMHC - g/kW.h)	0,78	0,55	0,55
Metano (CH ₄ em g/kW.h)	NE	NE	NE
Óxidos de nitrogênio (NO _x em g/kW.h)	5,00	3,50	2,00
Material particulado (MP em g/kW.h)	0,16 ou 0,21 ⁽³⁾	0,03	0,03

FONTE: IBAMA (2010).

NOTAS:

(1) Permanece em vigor nos anos de 2009, 2010, e 2011 por força de Termo de Ajustamento homologado

pelo Juízo Federal no estado de São Paulo.

(2) Aplicável somente para veículos com pós-tratamento.

(3) Aplicável somente a motores de cilindrada unitária inferior a 0,75 dm³ e rotação à potência nominal superior a 3000 m⁻¹.

(NE) não exigível.

**Tabela 3.6 – Veículos Pesados – Ciclo Diesel – Com Pós-tratamento
(Ciclo de testes ESC/ERL)**

POLUENTES	LIMITES		
	Fase P-5 ⁽¹⁾	Fase P-6	Fase P-7
	Desde 1/1/2004	Desde 1/1/2009	A partir de 1/1/2012
Monóxido de carbono (CO em g/kW.h)	2,10	1,50	1,50
Hidrocarbonetos não metano (NMHC - g/kW.h)	0,66	0,46	0,46
Metano (CH ₄ em g/kW.h)	5,00	3,50	2,00
Óxidos de nitrogênio (NO _x em g/kW.h)	0,10 ou 0,13 ⁽²⁾	0,02	0,02
Material particulado (MP em g/kW.h)	0,80	0,50	0,50

FONTE: IBAMA (2010).

NOTAS:

(1) Permanece em vigor nos anos de 2009, 2010, e 2011 por força de Termo de Ajustamento homologado

pelo Juízo Federal no estado de São Paulo.

(2) Aplicável somente a motores de cilindrada unitária inferior a 0,75 dm³ e rotação à potência nominal superior a 3000 m⁻¹.

**Tabela 3.7 – Veículos Pesados – Movidos a GNV
(Ciclo de testes ETC)**

POLUENTES	LIMITES	
	Fase P-6	Fase P-7
	Desde 1/1/2009	A partir de 1/1/2012
Monóxido de carbono (CO em g/kW.h)	4,00	4,00
Hidrocarbonetos não metano (NMHC - g/kW.h)	0,55	0,55
Metano (CH ₄ em g/kW.h)	1,10	1,10
Óxidos de nitrogênio (NO _x em g/kw.h)	0,50	2,00
Material particulado (MP em g/kW.h)	NE	NE

FONTE: IBAMA (2010).

NOTAS: (NE) não exigível.

3.2.4 Veículo de duas rodas e assemelhados (motocicletas e ciclomotores)

Visando complementar o controle das emissões de gases poluentes por veículos automotores iniciado pelo PROCONVE e assim contribuir para a redução da poluição do ar decorrente de fontes móveis no Brasil, foi criado, em 2002, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares – PROMOT.

O PROMOT foi fundamentado nas legislações vigentes na Europa, principalmente na Diretiva das Comunidades Européias nº 97/24/EC. Para o INEA (2010), o PROMOT estabeleceu limites de emissão para gases poluentes provenientes de motocicletas novas e previu exigências quanto à durabilidade de emissões, controle da qualidade da produção, critérios para implantação de programas de inspeção e manutenção periódica e fiscalização em campo.

O PROMOT passou a vigorar em 2003, onde se deu o início ao controle de emissão de gases poluentes pelo escapamento, com a implantação da Fase M-1, seguindo da Fase M-2 iniciada em 2005 e da Fase M-3 em 2009.

A Tabela 3.8 e 3.9 apresenta os limites máximos de emissões para ciclomotores e motocicletas.

Tabela 3.8 – Ciclomotores

POLUENTES	LIMITES
	Desde 1/1/2005 ⁽¹⁾⁽²⁾
Monóxido de carbono (CO em g/km)	1,0
Hidrocarbonetos + Oxidos de nitrogênio (HC + NO _x em g/km)	1,2

FONTE: IBAMA (2010).

NOTAS:

(1) A produção ou importação de até 50 unidades de um modelo por ano, num total máximo de 100 unidades de diferentes modelos por importador ou fabricante, poderá ser isenta da apresentação do atendimento aos limites;

(2) Em 1º/1/2005 - iniciou para todos os novos lançamentos de modelos.

Em 1º/1/2006 - exigido para todos os modelos.

Tabela 3.9 – Motocicletas

POLUENTES		LIMITES			
		Desde 1/1/2005 ⁽¹⁾⁽²⁾		Desde 1/1/2009 ⁽¹⁾	
		Motorização			
		< 150 cc	≥ 150 cc	< 150 cc	≥ 150 cc
Monóxido de carbono (CO em g/km)		5,5	5,5	2,0	2,0
Hidrocarbonetos (HC em g/km)		1,2	1,0	0,8	0,3
Óxidos de nitrogênio (NO _x em g/km)		0,3	0,3	0,15	0,15
Monóxido de carbono em marcha lenta (CO _{Marcha Lenta})	≤ 250 cc	6,0%			
	> 250 cc	4,5%			

FONTE: IBAMA (2010).

NOTAS:

(1) A produção ou importação de até 50 unidades de um modelo por ano, num total máximo de 100 unidades de diferentes modelos por importador ou fabricante, poderá ser isenta da apresentação do atendimento aos limites;

(2) Em 1º/1/2005 - iniciou para todos os novos lançamentos de modelos.

Em 1º/1/2006 - exigido para todos os modelos.

3.3 RESULTADOS

Desde sua instituição os resultados alcançados até então, mostram que a estratégia para implantação no Brasil de um programa de controle de emissão de poluentes por veículos automotores foi preparada acertadamente. O êxito do programa se deve a um cronograma bem elaborado, com etapas cada vez mais restritivas, e, sempre em sintonia com a realidade brasileira (IBAMA, 2004).

Entre os resultados mais expressivos alcançados pelo PROCONVE destacam-se:

- A modernização do parque industrial automotivo brasileiro;
- A adoção, atualização e desenvolvimento de novas tecnologias;
- A melhoria da qualidade dos combustíveis automotivos;
- A formação de mão-de-obra técnica altamente especializada;
- O aporte no Brasil de novos investimentos, de novas indústrias, de laboratórios de emissão;
- Geração de empregos;
- Diversificação do parque industrial; e, o maior de todos os seus feitos,
- A redução na fonte em até 97% da emissão de poluentes.

Antes do programa, a emissão média de monóxido de carbono de um veículo era de 54 g/km, hoje essa emissão é 0,3 g/km. Mesmo com o significativo aumento da frota brasileira de veículos automotores, estes resultados fizeram com que se tivesse condições de exercer um melhor controle sobre a poluição atmosférica, garantindo a qualidade do ar nas grandes cidades brasileiras.

No estágio em que se encontra, tem-se notado a melhoria do parque industrial nacional voltado para o controle de emissões veiculares, com a instalação de linhas de produção de sistemas de injeção de combustível, conversores catalíticos e sistemas de absorção de vapores de combustível, bem como equipamentos de medição.

Os resultados positivos alcançados, até agora, podem ser vistos na Tabela 3.10, abaixo, que mostra significativa redução dos fatores de emissão de monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio (NOx) e de aldeídos (RCHO) dos veículos leves de passageiros.

Tabela 3.10 – Fatores médios de emissão de veículos leves novos¹

Ano	Combustível	CO	HC	NO_x	CO₂⁽²⁾	RCHO
Modelo		(g/km)	(g/km)	(g/km)	(g/km)	(g/km)
< 1980	Gasolina C	54,0	4,7	1,2	nd	0,05
1980-1983	Gasolina C	33,0	3,0	1,4	nd	0,05
	Álcool	18,0	1,6	1,0	nd	0,16
1984-1985	Gasolina C	28,0	2,4	1,6	nd	0,05
	Álcool	16,9	1,6	1,2	nd	0,18
1986-1987	Gasolina C	22,0	2,0	1,9	nd	0,04
	Álcool	16,0	1,6	1,8	nd	0,11
1988	Gasolina C	18,5	1,7	1,8	nd	0,04
	Álcool	13,3	1,7	1,4	nd	0,011
1989	Gasolina C	15,2	1,6	1,6	nd	0,040
	Álcool	12,8	1,6	1,1	nd	0,110
1990	Gasolina C	13,3	1,4	1,4	nd	0,040
	Álcool	10,8	1,3	1,2	nd	0,110
1991	Gasolina C	11,5	1,3	1,3	nd	0,040
	Álcool	8,4	1,1	1,0	nd	0,110
1992	Gasolina C	6,2	0,6	0,6	nd	0,013
	Álcool	3,6	0,6	0,5	nd	0,035
1993	Gasolina C	6,3	0,6	0,8	nd	0,022
	Álcool	4,2	0,7	0,6	nd	0,040
1994	Gasolina C	6,0	0,6	0,7	nd	0,036
	Álcool	4,6	0,7	0,7	nd	0,042
1995	Gasolina C	4,7	0,6	0,6	nd	0,025
	Álcool	4,6	0,7	0,7	nd	0,042
1996	Gasolina C	3,8	0,4	0,5	nd	0,019
	Álcool	3,9	0,6	0,7	nd	0,040
1997	Gasolina C	1,2	0,2	0,3	nd	0,007
	Álcool	0,9	0,3	0,3	nd	0,012
1998	Gasolina C	0,79	0,14	0,23	nd	0,004
	Álcool	0,67	0,19	0,24	nd	0,014
1999	Gasolina C	0,74	0,14	0,23	nd	0,004
	Álcool	0,60	0,17	0,22	nd	0,013

Continua na próxima página →

Ano	Combustível	CO (g/km)	HC (g/km)	NOx (g/km)	CO₂⁽²⁾ (g/km)	RCHO (g/km)
Modelo						
2000	Gasolina C	0,73	0,13	0,21	nd	0,004
	Alcool	0,63	0,18	0,21	nd	0,014
2001	Gasolina C	0,48	0,11	0,14	nd	0,004
	Alcool	0,66	0,15	0,08	nd	0,017
2002 ⁽³⁾	Gasolina C	0,43	0,11	0,12	198	0,004
	Alcool	0,74	0,16	0,08	191	0,017
2003 ⁽⁴⁾	Gasolina C	0,40	0,11	0,12	194	0,004
	Alcool	0,77	0,16	0,09	183	0,019
	Flex – G/A	0,50	0,05	0,04	210	0,004
2004 ⁽⁵⁾	Gasolina C	0,35	0,11	0,09	190	0,004
	Alcool	0,82	0,17	0,08	160	0,016
	Flex – G/A	0,39	0,08	0,05	201	0,003
2005 ⁽⁶⁾	Gasolina C	0,34	0,10	0,09	190	0,004
	Alcool	0,82	0,17	0,08	192	0,016
	Flex – G/A	0,45	0,11	0,05	160	0,003
2006 ⁽⁷⁾	Gasolina C	0,33	0,08	0,08	192	0,004
	Alcool	0,67	0,12	0,05	200	0,016
	Flex – G/A	0,48	0,10	0,05	185	0,003
2007 ⁽⁸⁾	Gasolina C	0,33	0,08	0,08	192	0,002
	Alcool ⁽⁹⁾	nd	nd	nd	nd	nd
	Flex – G/A	0,48	0,10	0,05	185	0,003
2008	Gasolina C	0,37	0,042	0,039	223	0,0014
	Alcool ⁽⁹⁾	Nd	nd	nd	nd	nd
	Flex – G/A	0,51	0,069	0,041	185	0,0020
2009 ⁽¹⁰⁾	Gasolina C	0,30	0,034	0,020	228	0,0017
	Alcool	Nd	nd	nd	nd	nd
	Flex – G/A	0,33	0,032	0,030	181	0,0024

FONTE: Adaptado de CETESB (2009).

NOTAS:

(1) Médias ponderadas de cada ano-modelo pelo volume da produção

(2) Inclusão do dióxido de carbono, a partir de 2002

(3) Para os modelos a gasolina predominam motores de 1.0L; para os a álcool, de 1,5 a 1,8L

(4) Para os modelos a gasolina predominam motores de 1,0 L; para os a álcool, de 1,0 a 1,8 L. Nos veículos tipo flex fuel, predominam motores de 1,6 e 1,8 L. Parte da produção destes veículos foi ensaiada com gasolina C e parte com álcool carburante.

(5) Para os modelos a gasolina há motores entre 1,0L e 2,0L; para os a álcool, de 1,0L. Nos veículos tipo flex fuel, predominam motores de 1,6 e 1,8L. Parte da produção destes veículos foi ensaiada com gasolina C e parte com álcool carburante. As maiores diferenças devido às cilindradas dos motores são sentidas no CO₂.

(6) Para os modelos a gasolina há motores entre 1,0L e 2,0L; para os a álcool, de 1,0L. Para os veículos tipo flex fuel, predominam motores entre 1,0 e 1,8L. Parte da produção destes veículos foi ensaiada com gasolina C e parte com álcool carburante. As maiores diferenças devido às cilindradas dos motores são sentidas no CO₂.

(7) Para os modelos a gasolina há motores entre 1,0L e 2,0L; os modelos a álcool foram descontinuados, os valores são de um único modelo de 1,8L com produção da ordem de 500 unidades. Para os veículos tipo flex fuel há motores entre 1,0L e 2,0L. As maiores diferenças devido à cilindrada dos motores são sentidas no CO₂.

(8) Repetidos os valores de 2006

(9) Os modelos dedicados a álcool foram descontinuados em 2007.

(10) Para os veículos dedicados a gasolina predominam motores de 2,0 e maiores. Para os veículos flex fuel, os motores variam de 1,0L a 2,0L, com predominância dos de 1,0L.

nd - não disponível

4. METODOLOGIA PARA ESTIMAÇÃO DE EMISSÕES VEICULARES

4.1 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE UM INVENTÁRIO

Inventário de emissões é contabilização da quantidade de poluentes emitidos na atmosfera. O desenvolvimento de um inventário de emissões para veículos automotores tem o objetivo de quantificar as emissões geradas pela frota veicular para um ou mais poluentes, em uma determinada área geográfica e dentro de um período de tempo determinado, normalmente um mês ou um ano específico.

A metodologia básica utilizada para estimar estas emissões consiste em multiplicar dados de atividades veicular por um fator de emissão adequado. Para os veículos automotores, os dados de atividades são representados pela quilometragem percorrida por veículo, que é a distancia total percorrida pelos veículos automotores dentro do domínio espacial do inventário; enquanto que os fatores de emissão se expressam em unidades de grama de poluentes emitidos por quilômetro percorrido. De maneira ideal, as estimações da quilometragem percorrida por veículo devem ser desenvolvidas diretamente a partir de dados locais tais como a quantificação da frota veicular em circulação, por combustível e ano de fabricação. Entretanto, em muitos casos, estes dados não estão disponíveis e surge a necessidade de estimar a atividade veicular com base em parâmetros alternativos, tais como as estatísticas do consumo regional de combustível. Os fatores de emissões devem ser estimados utilizando um modelo de fator de emissão que haja sido ajustado para as condições locais (WGA, 1997).

A Figura 4.1 mostra as etapas básicas do processo de desenvolvimento de um inventário de veículos automotores que circulem em estradas, conforme propõe WGA (1997). Este processo pode ser dividido em cinco passos chaves:

1. Coleta de dados de atividade veicular;
2. Coleta de dados específicos de área (dados de temperatura ambiente, composição do parque veicular, quilômetros acumulados por veículos);
3. Geração dos fatores de emissão utilizando um modelo de fator de emissão;
4. Cálculo das estimações de emissões preliminares; e

5. Implantação dos procedimentos de qualidade para finalizar as estimações do inventário.

Um inventário das emissões de veículos automotores para uma área urbana pode incluir centenas ou mesmo milhares de variáveis. A frota veicular é composta por uma combinação de veículos de todos os modelos e anos, e o nível dos controles de emissão instalados varia significativamente dentro do espectro que estão operando em um momento determinado. Cada veículo é conduzido de forma individual, a diferentes velocidades e cargas, em diversas condições de condução. Todos estes elementos podem ter impactos significativos sobre as características de emissão de um veículo, que se refletirão como grandes diferenças de emissões de veículos que de, outro modo, seriam similares (EEA, 2009; WGA, 1997).

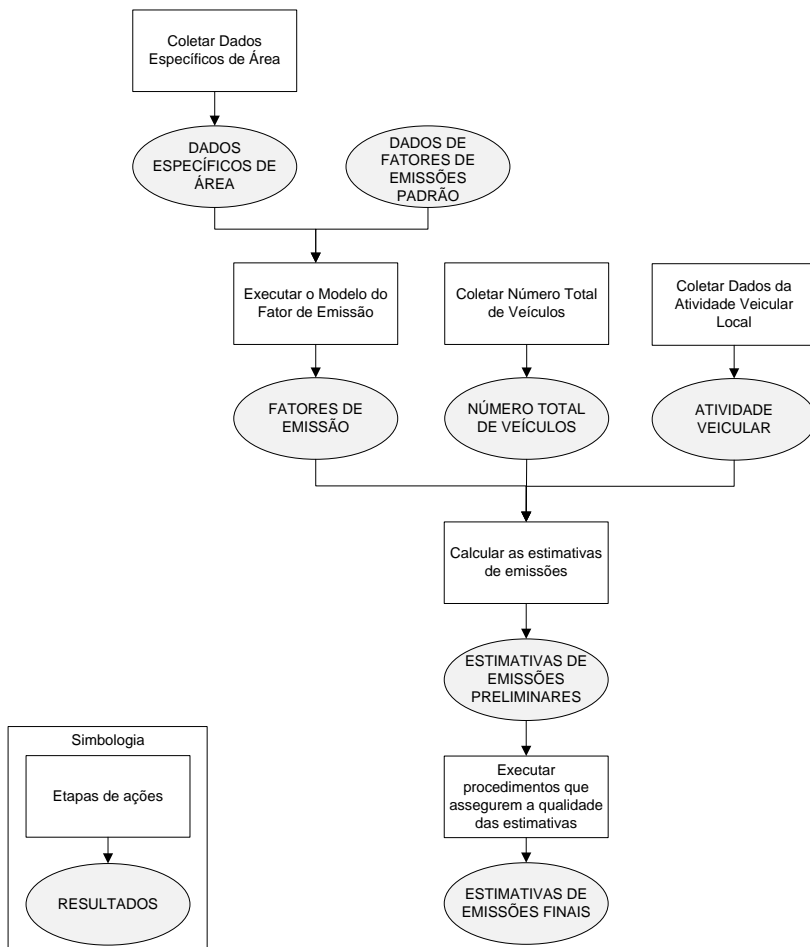


Figura 4.1 – Desenvolvimento do inventário de emissões veiculares.
Fonte: Adaptado de WGA (1997).

Para Gomes et al. (2005), os inventários de emissões são um instrumento indispensável para todos os estudos de poluição atmosférica, não só por fornecerem uma estimativa das principais fontes de poluição e quantidade de poluentes emitidos, como também por serem essenciais para eventuais estudos de modelação.

Em geral, os inventários de emissões agregam as estimativas em três tipos diferentes de fontes de emissão: fontes pontuais (instalações

industriais que, pela sua dimensão, pelo seu contributo para as emissões totais ou ainda pelo tipo de poluente emitido, justificam um tratamento individual), fontes em área (emissões difusas, com uma distribuição mais ou menos homogênea, podendo incluir fontes de pequena dimensão e/ou dificilmente identificáveis); e fontes em linha (de um modo geral associadas às fontes móveis, ou seja, o tráfego rodoviário, tráfego ferroviário, tráfego aéreo, etc.) (GOMES et al, 2005).

As emissões atmosféricas podem ter natureza diversa (pontuais, área ou linha) e, como tal, podem ser avaliadas de forma distinta. A Figura 4.2 apresenta duas metodologias comumente utilizadas para estimativas de emissões.

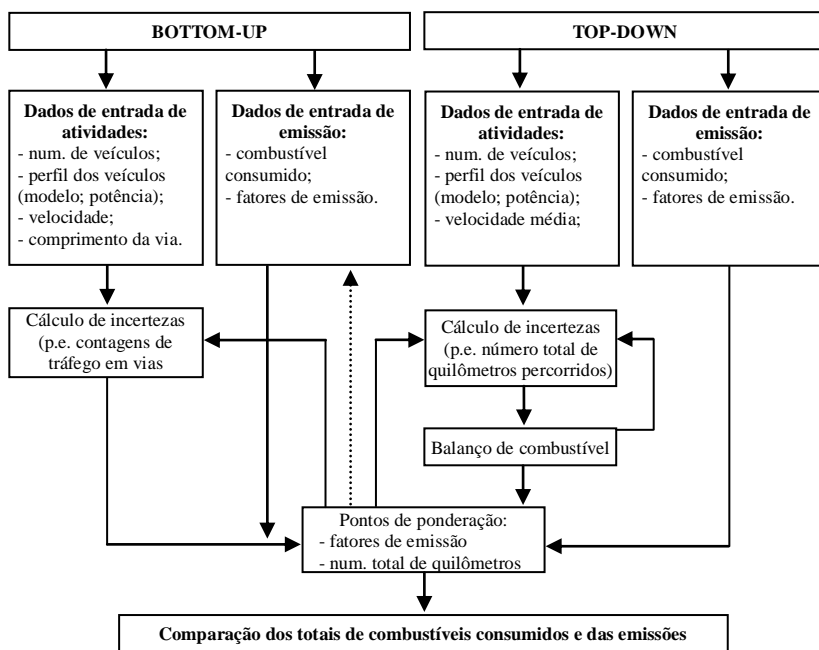


Figura 4.2 – Metodologias top-down e bottom-up.

Fonte: Adaptado de Baldasano e Power (1998). Tradução Livre.

A metodologia “*top-down*” faz a estimativa das emissões duma região ou unidade administrativa a partir das emissões calculadas para um nível de agregação superior (por exemplo, estados, regiões geográficas etc.). Estas emissões são distribuídas para um nível espacial inferior de acordo com determinados parâmetros de ponderação como a densidade de tráfego, densidade populacional, industrial, etc.; enquanto

que a metodologia “*bottom-up*” consiste em, partindo de dados de base, estimar a emissão total de um determinado poluente numa região ou unidade administrativa associado a uma determinada atividade.

De acordo com Gomes et al. (2005), para o cálculo das emissões provenientes das fontes pontuais e das fontes em área aconselha-se a aplicação de uma metodologia do tipo *top-down*, enquanto que para emissões provenientes das fontes em linha deve-se aplicar uma metodologia do tipo *bottom-up*.

4.2 METODOLOGIA BÁSICA PARA ESTIMAÇÃO DE EMISSÕES VEICULARES

De acordo com INE (2009), para gerar um inventário de emissões veicular confiável e preciso é essencial conhecer e compreender a metodologia geral utilizada em sua elaboração. Existem vários métodos para estimar as emissões dos veículos, mas existe uma metodologia geral básica que permite estimar o inventário de emissões com base em alguns elementos indispensáveis. As emissões decorrentes da frota veicular em circulação em um município, estado ou país, podem ser estimadas de forma generalizada pela seguinte equação:

$$E = NV \times AV \times FE \quad (4.1)$$

Onde:

E = Emissão total de um poluente (CO, NO_x, CO₂, HC etc.)

NV = Número total de veículos de interesse (automóveis, táxis, caminhões, motos, ônibus etc.)

AV = Atividade veicular, expressa como a distância total percorrida pelos veículos de interesse em determinado tempo e condições de circulação conhecidos (geralmente se expressa em quilômetros percorridos por dia ou ano).

FE = Fator de emissão para o poluente de interesse, para o tipo de veículo em questão e para as condições de circulação dos veículos, expressados em unidades de massa (p. ex., grama) por distância percorrida (p. ex., quilômetros).

A fórmula indica que a quantidade total de emissões de um poluente é uma função do número de veículos considerado na análise,

bem como a distância total percorrida por cada um destes e fatores de emissão associados com cada tipo ou categoria de veículo.

De acordo com INE (2009), os elementos chaves na estimação de um inventário de emissões de fontes veiculares são:

1. O número de veículos de cada tipo ou categoria;
2. À distância percorrida por unidade de tempo (dia ou ano) por cada tipo de veículo;
3. As condições de tráfego – entre as quais se destacam as velocidades, acelerações, tipos de estradas, uso do ar condicionado etc.; e
4. Os fatores de emissão associados a cada poluente, condição de tráfego e tipo de veículo.

A equação básica para a estimativa de emissões veiculares, apresentada anteriormente, é aplicável para a maioria dos gases e partículas poluentes. Para outros poluentes, tais como o óxido de enxofre (SO_x) e o chumbo (Pb), as emissões são calculadas utilizando um balanço de combustível, supondo que se emitem a totalidade de enxofre ou chumbo contido no combustível (WGA, 1997).

Para WGA (1997), a equação que descreve o balanço de combustível para os óxidos de enxofre (SO_x) é:

$$E_{\text{SO}_x, f} = C_f \times D_f \times S_f \times 2 \quad (4.2)$$

Onde:

$E_{\text{SO}_x, f}$ = Emissões de SO_x do combustível f (gasolina ou diesel)

C_f = Consumo total do combustível f

D_f = Densidade do combustível f

S_f = Composição de enxofre (fração de massa) do combustível f

2 = Fator de conversão da massa de enxofre a massa de SO_x (como SO_2)

Ainda de acordo com WGA (1997), uma equação similar descreve o balanço de combustível para o chumbo (Pb):

$$E_{\text{Pb}, f} = C_f \times D_f \times \text{Pb}_f \quad (4.3)$$

Onde:

$E_{\text{Pb}, f}$ = Emissões de Pb do combustível f (gasolina ou diesel)

C_f = Consumo total do combustível f

D_f = Densidade do combustível f

Pb_f = Composição de chumbo (fração de massa) do combustível f

Existem inúmeras formas e maneiras de se obter valores das entradas apresentadas, cada uma com diferentes benefícios e problemas de implementação. A seguir, é descrito com maior detalhe as considerações gerais que devem ser tratadas na coleta e tratamento das informações necessárias para poder aplicar de maneira apropriadas as fórmulas antes mencionadas (INE, 2009).

Estas considerações foram baseadas, principalmente, na obra “*Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades mexicanas*” do Instituto Nacional de Ecología (México).

4.2.1 Número de veículos (NV)

A variável “número de veículos” se refere à frota veicular ativa ou em circulação em uma determinada área de estudo. É importante destacar que o número total de veículos em circulação em uma área de estudo pode ser muito diferente do número total de veículos registros neste domicílio (INE, 2009).

Esta situação pode ser melhor ilustrada nos exemplos a seguir:

1. Em uma cidade comercial ou industrial, por exemplo, normalmente podem se encontrar durante o dia muitos veículos domiciliados fora da mesma.
2. Uma cidade turística, durante as férias e feriados, recebe inúmeros turistas e, por conseguinte, inúmeros veículos domiciliados em outras localidades.

Para INE (2009), em geral, na determinação do número total de veículos a ser considerado no desenvolvimento de um inventário de emissões de fontes móveis deve levar em consideração todos estes aspectos e qualquer outro que possa provocar um viés significativo na delimitação da frota veicular.

4.2.1.1 – Tipos de veículos

A quantidade de poluentes emitidos por veículos automotores, tais como, motos, caminhões, ônibus e automóveis diferem muito em si. Isto se deve, porque, as emissões variam de acordo com o tipo de

veículo, uso, tipo de combustível, tipo de tecnologia, tamanho do motor, idade do veículo e outros fatores.

De acordo com INE (2009), portanto, não basta saber o número total de veículos que circulam na região de interesse, é necessário caracterizar a frota veicular de tal forma que os veículos possam ser agregados em grupos ou categorias com características de emissões similares, para posteriormente tratar de quantificar as emissões para cada grupo.

As variáveis ou critérios de agregação de veículos comumente usados na caracterização de uma frota veicular são (INE, 2009):

1. Tipo de veículo (ônibus, caminhão, motocicleta, automóveis etc.)
2. Combustível utilizado (gasolina, diesel, álcool etc.)
3. Peso veicular (agrupando veículos de um mesmo tipo e subclasses similares como compactos, hatch, sedan, SUVs etc.)
4. Potência do motor (ou cilindradas, em cm^3 ou litros)
5. Uso veicular (um táxi, por exemplo, tipicamente percorre mais quilômetros por dia que um veículo particular e por tanto as emissões dos táxis são proporcionalmente maiores)
6. Tecnologia utilizada (padrões de emissões como por exemplo: PROCONVE L-1, L-2, L-3 etc.)
7. Idade do veículo (que afeta o nível tecnológico, a quilometragem média percorrida etc.)

Portanto, é evidente que para estimar um inventário de emissões de fontes móveis é necessário conhecer o número total de veículos de cada categoria que circulam na área de interesse. Quando melhor se conhece a caracterização da frota veicular, mais confiável será a estimativa do inventário de emissões (INE, 2009).

4.2.2 Atividade veicular (AV)

A variável “atividade veicular” se refere à quilometragem média percorrida por uma população de veículos em um período de tempo e espaço determinado onde, além disso, as condições de circulação são conhecidas (números de viagens, velocidade, aceleração, uso de ar condicionado etc.) (INE, 2009; WGA, 1997).

Para calcular o inventário de emissões veiculares para uma dada região, é necessário determinar os quilômetros totais percorridos por todos os veículos de cada categoria no período de interesse (RIVEROS; CABRERA; MARTÍNEZ, 2011).

De acordo com INE (2009), a estimação de um inventário de emissões de forma confiável e preciso, resulta indispensavelmente em estimar a atividade veicular considerando os seguintes fatores:

4.2.2.1 – Distribuição por velocidade

Para Ahn (2002), as emissões por tubo de escape de um veículo variam sensivelmente com a velocidade e as taxas de aceleração as quais se sujeitam. Segundo INE (2009), em condições de tráfego muito congestionado, onde o veículo passa muito tempo parado, com acelerações e desacelerações constantes, se consome mais combustível e se emite uma maior quantidade de poluentes por quilômetros percorridos, em comparação com o que ocorre em velocidades médias onde o fluxo do tráfego é livre e contínuo.

Para WGA (1997), no cálculo de um inventário de emissões, deve-se determinar a velocidade média dos veículos (de preferência por categoria veicular), devido este parâmetro “velocidade” afetar os fatores de emissões.

Portanto, de acordo com INE (2009), para estimar um inventário de emissões de fontes veiculares com precisão é importante determinar os dados de atividade (AV) tomando em consideração as diferentes formas ou padrões de condução na área abrangida pelo inventário (AHN, 1998; AHN, 2002; INE, 2009).

4.2.2.2 – Número de viagens por dia

Tradicionalmente, uma viagem é definida como um percurso de uma origem a um destino. O número de viagens por veículo por dia normalmente é determinado através de modelos de demanda ou de medições diretas em campo.

Estas informações são utilizadas já que as emissões de um veículo se elevam durante sua partida; portanto, o inventário de

emissões deve levar em conta cada partida (início), seja com o motor quente ou frio.

Além disso, é importante determinar os períodos de inatividade dos veículos entre viagens, pois, hidrocarbonetos e compostos orgânicos voláteis são emitidos tanto quando um veículo está sendo conduzido como quando estiver parado. O tempo de inatividade antes de cada partida afeta a magnitude das emissões de partida. Por estas razões, o inventário de emissões deve levar em conta o “tempo de repouso” dos veículos.

4.2.2.3 – Uso do ar condicionado

De acordo com INE 2009, o uso do ar condicionado num veículo consome potência do motor, aumentando seu consumo de combustível e suas emissões de escape. A baixa velocidade e em tráfego congestionado, o impacto (em g/km) é maior que em alta velocidade.

Para Rozen e Macedo (2010), ligar o ar-condicionado em velocidades superiores a 80 quilômetros por hora é mais econômico do que circular com as janelas abertas, já que a resistências do ar proporcionada pelos vidros abertos, exige mais potência do motor do que o uso do ar-condicionado. Portanto, é importante que ao se caracterizar a atividade veicular se leve em consideração este fator (MATTOS, 2001).

Ainda, de acordo com INE (2009), os principais fatores que influem sobre uso do ar condicionado são, entre outros: característica do clima na região (temperatura e umidade), o nível socioeconômico da população (já que os veículos com ar condicionado são geralmente mais caros) e o nível de segurança pessoal na região (já que afeta a disposição dos condutores em manter uma janela aberta).

4.2.3 Fatores de Emissão (FE)

A variável “fator de emissão” refere-se à relação entre a quantidade de um determinado poluente emitido à atmosfera e a unidade de atividade ou consumo de combustível. No caso dos veículos automotores, os fatores de emissão se expressam em unidades de massa

de poluentes emitidos por distância percorrida. No Brasil, os fatores de emissões são considerados em unidades de grama por quilômetro percorrido (g/km) (WGA, 1997).

Como já mencionado nas seções anteriores deste capítulo, as emissões de poluentes de um veículo são influenciadas por sua idade, pela potência do motor, pela velocidade, pelas características de combustível, pelas condições operação e condução, e muitos outros elementos. Isto é, as emissões veiculares são complexas e dinâmicas, o que dificulta a determinação de seus fatores de emissão. Nos últimos anos se desenvolveram diferentes técnicas para a determinação dos fatores de emissão de fontes móveis, as quais podem ser classificar em: 1) técnicas diretas e 2) técnicas indiretas (INE, 2009).

Nas seguintes seções é descrito, em termos gerais, cada uma das principais técnicas para a determinação dos fatores de emissão.

4.2.3.1 – Técnicas diretas para obtenção de fatores de emissões

As técnicas diretas para a obtenção de fatores de emissões veiculares são baseadas em medições diretas na fonte. Alguns exemplos destas técnicas são o uso de monitoração a bordo (método no qual a partir de um sistema de medição auto transportado são medidos as emissões em condições reais de operação dos veículos) – emissões em campo, e os testes dinamométricos (realizados em dinamômetros de chassi em que se aplicam diferentes cargas e velocidades aos veículos automotores em função do ciclo ou padrão de condução utilizado) – emissões laboratoriais (INE, 2009).

Para Roupail et al. (2000), as medições a bordo realizadas em veículos em operação permitem a coleta simultânea de velocidade, aceleração e emissões de veículos a cada segundo em condições reais de operação. As medições são realizadas através da coleta dos gases do escapamento e analisadas por um dispositivo portátil nos veículos.

A Figura 4.3 mostra um veículo equipado com dispositivos para medição a bordo das emissões veiculares.



Figura 4.3 – Veículos equipados com dispositivo de medição a bordo.

Fonte: Rouphail et al. (2000) e Vlieger, Keukeleere e Kretzschmar (2000).

De acordo com Frey e Unal (2002), a grande vantagem de realizar medições a bordo de veículos é a representação das emissões em condições realísticas, eliminando a falta de representatividade dos ciclos de direção utilizados nos ensaios com dinamômetros de chassi.

As medições realizadas através do teste dos veículos em dinamômetros de chassi utilizam ciclos de condução ou ciclos de operação (FAIZ; WEAVER; WALSH, 1996).

Segundo Andre et al. (1995), os ciclos de condução tentam reproduzir as condições de tráfego e padrões de condução do mundo real. Através da instrumentação e monitoração de uma amostra representativa de veículos são observadas as características de uso dos veículos (velocidades, acelerações e desacelerações) e de suas viagens (extensão da viagem e tipos de vias) em condições reais. As condições do tráfego são caracterizadas segmentando os perfis de velocidades em seqüências cinemáticas entre paradas sucessivas. O uso de análise fatorial e técnicas de classificação permitem a caracterização destas seqüências e a forma como elas são conectadas. O ciclo de condução é então formado pela combinação destas seqüências selecionadas aleatoriamente de acordo com o resultado de análises estatísticas (JACONDINO, 2005).

Existem diferentes ciclos de condução padronizados por órgãos oficiais de transporte em todo o mundo (Joumard e Sérié, 2000; Boulter et al., 1999). No Brasil, o ciclo de condução utilizado para o teste de medição de emissões é definido pelo PROCONVE (IBAMA, 2004). Os ciclos de condução são caracterizados por variáveis cinemáticas tais como tempo total, velocidade média, distância viajada, velocidade máxima e máxima potência específica – dobro do produto da velocidade pela aceleração. A Figura 4.4 ilustra o funcionamento das medições de emissões em dinamômetros de chassi.

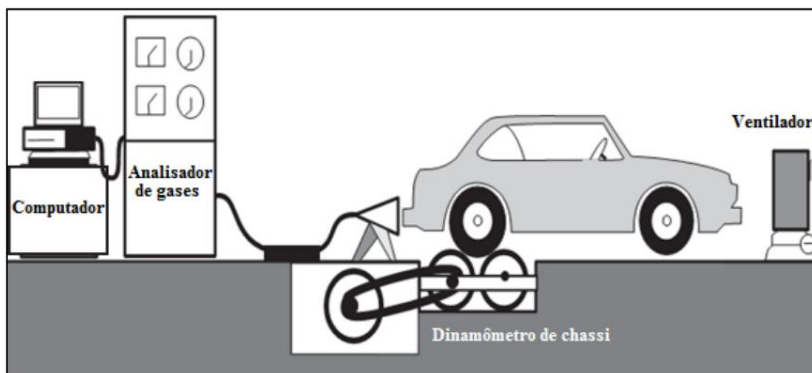


Figura 4.4 – Ensaio de dinamômetro de chassi para a medição de poluentes.
Fonte: Faiz, Weaver e Walsh (1996).

Os testes diretos, geralmente, apresentam um alto custo de implementação. Se for feita uma seleção apropriada de veículos em quantidade suficiente para os testes, se terá uma amostra representativa com informações estatisticamente relevantes para determinar os fatores de emissões para a frota em geral.

Existem outras técnicas diretas, como as medições com equipamentos de detecção remota, que permitem realizar milhares de medições por dia, como por exemplo, na entrada de uma autopista (WENZEL; SINGER; SLOTT, 2000; YU, 1998). A detecção remota é o conjunto de técnicas que possibilita a obtenção de informações sobre alvos na superfície terrestre (objetos, áreas, fenômenos), através do registro da interação da radiação eletromagnética com a superfície, realizado por sensores distantes, ou remotos. O custo por medição é baixíssimo, porém depende de um investimento de capital considerável. Para Jacondino (2005), a vantagem do uso deste tipo de medição é que apenas um único equipamento é capaz de medir as emissões de um grande número de veículos em um único dia com um custo muito inferior aos outros procedimentos de medição, além do fato de fornecerem dados reais de emissões de campo.

Os dados obtidos através de programas de monitoramento com equipamentos de detecção remota são extremamente úteis quando incluem leitores automáticos das placas dos veículos. Utilizando destes dados, é possível acessar a base de dados do DETRAN ou do DENATRAN e obter informações específicas sobre todos os veículos, como por exemplo:

1. Tipo de veículo e uso;
2. Marca;
3. Ano modelo;
4. Potência do motor;
5. Tipo de combustível; e
6. Estado e município do registro veicular.

Devido às limitações de custo e tempo envolvidos nas medições diretas, é muito difícil determinar os fatores de emissão para cada classe e tipo de veículo em circulação através das técnicas mencionadas. Portanto, geralmente é mais aconselhável investir os recursos disponíveis na caracterização da atividade veicular (em uma amostra de veículos tão grande possível), e utilizar técnicas ou métodos indiretos para a determinação dos fatores de emissões. Nestes casos, técnicas diretas são de grande utilidade como método de calibração das técnicas indiretas, gerando fatores de correção com base nas condições locais, específicas de cada região, e através da medição de um número limitado de veículos (INE, 2009).

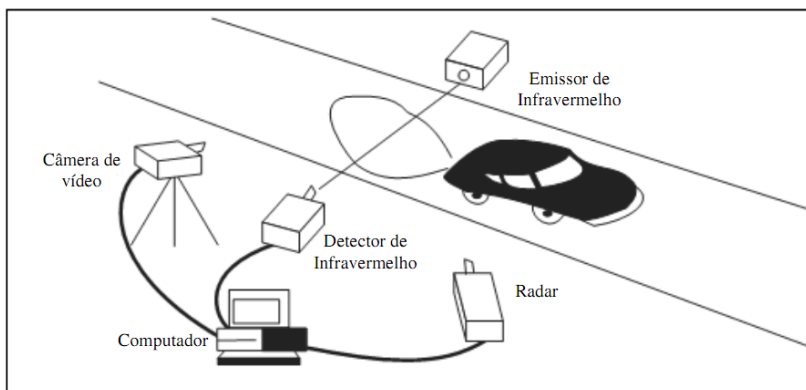


Figura 4.5 – Obtenção de emissões veiculares através de sensoriamento remoto.
Fonte: Faiz, Weaver e Walsh (1996).

4.2.3.2 – Técnicas indiretas para obter fatores de emissões

As técnicas indiretas não envolvem medições em cada fonte no local ou área de estudo, mas utilizam os resultados de milhares de medições diretas realizadas em outros lugares e as correlacionam com uma frota específica que se estuda e os parâmetros locais que afetam

suas emissões. Um exemplo deste tipo de técnicas é o uso de fatores de emissões, que podem ser estimados para cada tipo ou categoria veicular de maneira geral constituindo o que se conhece como fatores de emissões globais, que também podem ser desagregados por ano modelo.

Devido à complexidade de condução das múltiplas variáveis que afetam à frota e suas emissões, existem modelos computacionais desenvolvidos especificamente para estimar os fatores de emissões das fontes veiculares. Basicamente, através da análise de dados de medições diretas realizadas em uma grande quantidade de veículos, estes modelos determinam o fator de emissão (em g/km) para cada poluente de acordo com cada combinação de:

1. Tipo de veículo
2. Tipo de combustível
3. Nível tecnológico e idade do veículo
4. Nível de atividade distribuído por velocidade
5. Perfil de número de viagens e partidas
6. Outros fatores, como temperatura ambiental e altitude.

4.2.4 Outros fatores a considerar

Nesta seção se agrupam os elementos ou variáveis externas ao veículo que devem ser consideradas na determinação do inventário de emissões veiculares em circulação, os quais estão relacionados com as características da localidade e o período selecionado para desenvolver o inventário.

4.2.4.1 – Dados da localidade

Há uma série de dados necessários para estimar o inventário de emissões que estão relacionados com elementos da localidade, tais como:

1. Temperatura ambiente
2. Características do combustível (teor de enxofre e pressão de valor)
3. Altitude (alta ou baixo)
4. Umidade relativa
5. Eficácia em programas de manutenção e inspeção

6. Eficácia de controles para evitar modificações não apropriadas ao sistema de controle de emissões dos veículos
 7. Eficácia dos sistemas de controle de emissões evaporativas em estações de serviços, etc.
- Além disso, uma série de fatores que dependem do ano-base

4.2.4.2 – Características do inventário

Além disso, uma série de fatores que dependem do ano e mês base para a elaboração do inventário de emissões e modificam os resultados dos mesmos, como:

1. Ano calendário analisado
2. Mês analisado (de inverno ou verão)
3. Dia de semana analisado (dia da semana ou fim de semana)

4.3 MODELOS PARA ESTIMATIVAS DE EMISSÕES DE POLUENTES VEICULARES

O processo de estimativa de emissões veiculares é bastante complexo porque é derivado da interação de diversos fatores, como as características da infra-estrutura viária, do tipo de veículos, dos combustíveis utilizados, da quilometragem anual, das velocidades médias e dos padrões de viagens de determinado local.

Existem várias metodologias disponíveis para realizar a quantificação das emissões de poluentes. Para Sturm et al. (1997): “[...] a escolha do modelo de emissão depende muito da necessidade específica e da exatidão requerida para descrever o comportamento das emissões provenientes do tráfego rodoviário”.

Diante da complexidade dos modelos de emissões de poluentes, à medida que envolve inúmeras variáveis relacionadas tanto com a oferta quanto com a demanda viária, a modelagem computacional de tráfego, entre as diversas técnicas utilizadas, tem-se constituído uma importante ferramenta para auxiliar o trabalho do Engenheiro de Tráfego, permitindo analisar vários cenários e antecipar os impactos positivos e

negativos causados a partir da implantação de uma determinada alternativa, além de fornecer inúmeras medidas de desempenhos (PORTUGAL, 2005; POYARES, 2000).

Modelos computacionais de tráfego são utilizados como ferramentas de apoio à avaliação do desempenho viário urbano e para a estimativa das emissões veiculares (IMASATO *et al*, 2008).

A estimativa de emissões veiculares em áreas urbanas pode ser realizada através de modelos de previsão das atividades operacionais dos veículos, denominados modelos de tráfego, e de modelos de emissões veiculares.

Para Ariotti (2010, p. 36):

Os modelos de tráfego representam as interações entre a demanda e a oferta de transportes, determinando os fluxos na rede viária modelada e outros parâmetros de desempenho viário, como velocidades ou atrasos. Os modelos de emissões buscam estimar a quantidade de poluentes gerada, baseados nas informações da atividade operacional dos veículos na rede viária.

Os modelos de tráfego podem ser classificados quanto a diversos aspectos, tais como, quanto à forma de uso, quanto à escala espacial ou temporal e quantos ao nível de agregação das variáveis. Em relação ao uso, este pode ser manual ou computacional. Em relação à escala espacial, os modelos podem representar grandes áreas, sub-regiões, trechos de vias ou simplesmente interseções viárias. Quanto à variabilidade temporal, os modelos podem ser estáticos, quando a dimensão do tempo não é relevante, ou dinâmicos, que pressupõe um acompanhamento das várias atividades que compõem o modelo ao longo de um período de tempo (ARIOTTI, 2010; SALIBY, 1989).

Quanto ao nível de agregação das variáveis do fluxo de tráfego, os modelos se classificam em:

1. Macroscópico

Na abordagem macroscópica, desenvolvida por Greenberg, Lighthill, Withhan e Richards, o fluxo de tráfego é concebido como um fluido, ou seja, o tráfego é representado como uma entidade única. O sistema é descrito através de relações entre fluxo, densidade e velocidade (ARAÚJO, 2003). Neste caso, a individualidade dos veículos é desprezada. Modelos macroscópicos tratam o tráfego com baixo nível de detalhamento. Para Portugal (2005, p. 6): “Tal enfoque apresenta

uma vantagem computacional sob o ponto de vista de espaço para memória e velocidade de execução, porém os modelos são menos flexíveis e pouco detalhados”. O uso da abordagem macroscópica é indicado quando: 1) os elementos a serem analisados são pouco sensíveis; 2) as interações veículo a veículo são dispensadas; 3) a extensão da rede estudada é demasiadamente ampla de modo a inviabilizar o uso de outros modelos; e, 4) o tempo e os recursos para desenvolvimento da modelagem são limitados.

2. Mesoscópico

Para Portugal (2005): “[...] os modelos (mesoscópico) formam uma classe intermediária quanto ao realismo e detalhamento. Os veículos são agrupados em pelotões e tratados desta forma quanto a tamanho, localização, velocidade e aceleração”. Os modelos mesoscópicos são normalmente utilizados em redes semaforizadas e procuram a deformação destes pelotões ao longo do tempo e do espaço com base na Teoria da Dispersão de Fluxos de Tráfego.

3. Microscópico

Modelos microscópicos tratam os veículos de forma individualizada. Nestes, os veículos são representados individualmente e as suas velocidades e acelerações são calculadas segundo a segundo. Modelos de tráfego microscópicos requerem grandes quantidades de dados, modelos complexos e maiores recursos computacionais, ao contrário, oferece resultados que dão uma idéia muito detalhada do funcionamento da rede e é muito útil para analisar estratégias de controle, a estrutura da rede e a sensibilidade do sistema diante de mudanças específicas no trânsito.

Quanto aos modelos de emissões, estes podem ser classificados em dois tipos: estáticos e dinâmico. Os modelos estáticos, baseados na velocidade média dos veículos, apresentam pouco nível de detalhes das variáveis consideradas, e representam as emissões veiculares em dias, meses ou ano, enquanto que os modelos dinâmicos representam as emissões continuamente, em geral, de segundo a segundo, e apresentam estimativas mais detalhadas de emissões. A Figura 4.6 apresenta as principais variações intermediárias de acordo com o nível de detalhamento em modelos de emissões estáticos e dinâmicos.

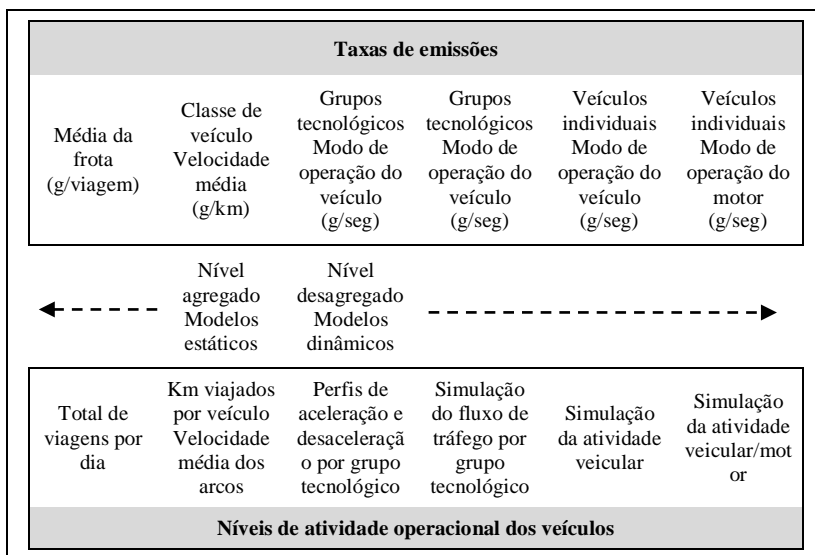


Figura 4.6 – Níveis de detalhamento em modelos de emissões.

Fonte: Bachman (1997).

Estimativas de emissões podem ser obtidas através de modelos específicos de emissões associados aos modelos de tráfego macroscópico, mesoscópico e microscópico.

Atualmente, a maioria dos simuladores de tráfego apresenta módulos de estimativas de emissões veiculares. Estes, entretanto, apresentam grandes variações, tanto em sua abordagem teórica, como em relação aos fatores de emissões associados aos veículos (IMASATO *et al*, 2008).

No presente capítulo é descrito algumas generalidades de quatro modelos macroscópicos comumente utilizados em diferentes países e regiões do mundo: MOBILE, MOVES, IVE e COPERT.

4.3.1 Principais modelos para estimativa de emissões veiculares

4.3.1.1 – Modelo MOBILE

O modelo MOBILE é um programa de computador integrado por rotinas elaboradas em linguagem de programação Fortran e é utilizado para o cálculo de fatores de emissões para veículos automotores movidos a gasolina, diesel e gás natural. A metodologia MOBILE, financiada pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA), é baseada em testes de emissões de dezenas de veículos (testes de dinamômetro de chassi). Este modelo considera sobre os cálculos dos fatores de emissões, mudanças nos padrões de emissão dos veículos, as alterações na quantidade e atividade dos veículos, a qualidade do combustível e a variação de condições locais, tais como temperatura e umidade (EPA, 2003).

O modelo MOBILE 6.2 (2002) é o último da série de modelos MOBILE. A primeira versão data de 1978. Inicialmente o modelo foi desenvolvido para calcular as emissões médias da frota para três poluentes: hidrocarbonetos, monóxido de carbono e óxidos de nitrogênio. Com as novas gerações o modelo tornou-se mais sofisticado, passando a possuir uma gama maior de variáveis de entrada e ampliando o número de poluentes analisados. O programa evoluiu e sua versão atual, MOBILE 6.2, fornece uma ferramenta flexível de análise que pode ser aplicada a uma ampla variedade de condições geográficas e características da frota de veículos. Neste sentido, é importante notar que existe uma versão chamada MOBILE-CETESB, que foi adaptada e modificada de acordo com características tecnológicas da frota de veículos do Brasil. A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) de São Paulo adaptou a Metodologia MOBILE as características da frota brasileira, considerando para os cálculos dos fatores médios de emissões o álcool e a mistura gasolina-álcool que predomina no país, decorrentes de carros com motor “flex” (EPA, 2003; INE, 2009).

A metodologia MOBILE não possui interface gráfica com o usuário. O aplicativo apenas executa as rotinas editadas pelo usuário. A versão mais recente do aplicativo – MOBILE 6.2 (Janeiro de 2002) – está disponível no endereço: <http://www.epa.gov/oms/m6.htm>.

4.3.1.1.1 Características do modelo MOBILE

O MOBILE 6.2 calcula fatores de emissão para 28 categorias diferentes de veículos, formados com base em critérios como o tipo de veículo (carro, ônibus, moto, caminhão), tipo de combustível utilizado (gasolina, diesel, gás natural), o peso bruto do veículo e a tecnologia do motor. Além disso, para cada categoria de veículos o MOBILE é capaz de estimar fatores de emissões para diferentes tipos de estradas: expressa, coletora, arterial e local (INE, 2009).

O MOBILE 6.2 não inclui, dentro de suas categorias veiculares, veículos fabricados de acordo com normas de outros países como o Japão ou a Comunidade Européia, apenas os veículos fabricados de acordo com os padrões americanos (EPA, 2003).

A família de modelos MOBILE foi projetada para estimar fatores de emissões provenientes dos gases de escape e das evaporações de combustíveis, exclusivamente para veículos rodoviários de estrada. Os fatores de emissão para veículos rodoviários fora-de-estrada (por exemplo, equipamentos agrícolas, como a colheitadeira e equipamentos de construção, como a escavadeira e o trator), são geralmente estimados com uso de modelos não rodoviários.

Outras características do modelo MOBILE podem ser encontradas em detalhes no Guia do Usuário, disponível no endereço: <http://www.epa.gov/oms/models/mobile6/420r03010.pdf>.

4.3.1.2 – Modelo MOVES

O *Motor Vehicle Emission Simulator* (MOVES) é um modelo de análise de emissões veiculares, desenvolvido pelo Instituto de Transporte e Qualidade do Ar (OTAQ, por sua sigla em inglês), da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos. O MOVES é resultado de um esforço para desenvolver um conjunto de ferramentas de modelagem para a estimativa das emissões produzidas por fontes móveis rodoviárias (veículos de estrada e fora-de-estrada) e fontes móveis não rodoviárias (aviões, locomotivas, embarcações etc.) (INE, 2009).

O MOVES representa a união, em um único aplicativo, de dois modelos ulteriores desenvolvidos pela própria Agência de Proteção

Ambiental (EPA): o modelo MOBILE, para cálculos de fatores de emissões de veículos de estrada; e o modelo NONROAD, desenvolvido para calcular os fatores de emissões de veículos fora-de-estrada. O modelo MOVES, ainda em desenvolvimento pela EPA, quando estiver totalmente concluído, servirá para substituir os modelos MOBILE e NONROAD (EPA, 2010a; EPA, 2010b).

O MOVES, ilustrado na Figura 4.7, consiste em uma base de dados escrita em linguagem de programação JAVA e MySQL (sistema de gerenciamento de banco de dados). Este modelo é de Multiplataforma, ou seja, funciona em diversas plataformas. Por exemplo, uma aplicação MOVES pode ser executada em Windows em um processador x86, em GNU/Linux em um processador x86, e em Mac VOS X em um x86 ou em um PowerPC. O modelo permite análises em múltiplas escalas, sendo, portanto, capaz de analisar emissões provenientes de redes viárias limitadas, como nas interseções, e extensas, como na estimação de um inventário de emissões nacional.

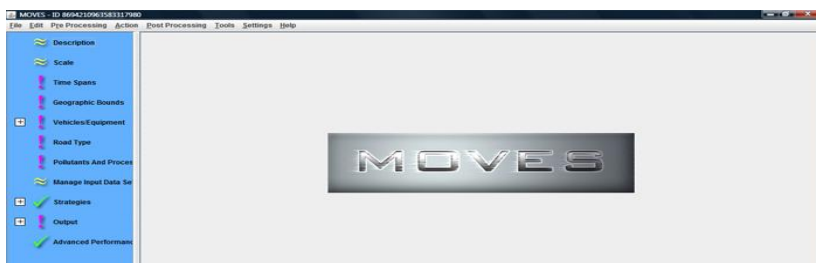


Figura 4.7 – Interface MOVES 2010.

Fonte: EPA (2010a); EPA (2010b).

4.3.1.1.2 Características do modelo MOVES

As emissões dos veículos a motor estão diretamente relacionadas à atividade e caracterização do veículo. No MOVES o principal critério de caracterização é a utilização do veículo e sobre esta base, a frota de veículos em circulação são classificadas em 13 categorias (Quadro 3.1) (EPA, 2009). No entanto, dado que o modelo estima as emissões tendo em conta não apenas o uso de veículos, mas também as variáveis que têm maior influência sobre os padrões de atividade, consumo de energia e geração de emissões, em seu projeto se implementou o conceito de "subcategorias". Sob este conceito, os veículos dentro de cada categoria

de uso são agrupados com base em critério como o tipo de combustível, tecnologia dos motores, ano de fabricação e peso do veículo carregado (INE, 2009).

Categoria de veículos	Descrição
Automóveis de passageiros	Veículos automotores construídos para o transporte de pessoas e comportando, no máximo, oito lugares, exceto o assento do motorista
Veículos de passageiros	Automóveis para uso de transporte particular
Caminhões de passageiros ligeiros	Minivans, Pick-ups, SUVs e outros veículos com 2 eixos e 4 pneus usados principalmente para o transporte pessoal
Caminhões comerciais ligeiros	Minivans, Pick-ups, SUVs e outros veículos com 2 eixos e 4 pneus usados principalmente para atividades comerciais. Considera-se que estes caminhões são diferentes de caminhões de passageiros em termos de quilometragem anual percorrida, bem como seus padrões de operação por hora do dia.
Caminhões de coleta de lixo	Caminhões de coleta de lixo e reciclagem. Supõe-se que diferente do outro caminhão, em termos de horário de funcionamento, a distribuição por tipo de estrada e tempo de operação do dia
Caminhões de curta distância	Caminhões que, em geral, percorrem menos de 200 quilômetros por viagem.
Caminhões de longa distância	Caminhões que, em geral, percorrem com mais de 200 quilômetros por viagem
Trailer/Motorhome	Veículo construído sobre um chassi de caminhão ou ônibus, concebido para servir como um lar para viagens a lazer.
Ônibus interestaduais	Ônibus utilizados para o transporte de uma cidade a outra.
Ônibus urbanos	Ônibus utilizados dentro da área urbana

Ônibus escolares	Ônibus para o transporte escolar
Caminhões com combinação de curta distância	Caminhões de longas distâncias que também combinam com operações de curta distância (menos de 200 quilômetros por viagem)
Caminhões com combinação de longa distância	Caminhões de curtas distâncias que também combinam com operações de longa distância (mais de 200 quilômetros por viagem)
Motocicletas	Veículos de duas rodas com um motor que propicia a auto-locomção

Quadro 3.1 – Categorias de veículos no MOVES.

Fonte: EPA (2010a).

4.3.1.2 – Modelo IVE

O *International Emissions Vehicle* (IVE) é um modelo de computador programado em linguagem JAVA, planejado para estimar as emissões provenientes dos veículos automotores.

O Modelo IVE foi desenvolvido pela Universidade da Califórnia em Riverside com financiamento da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA).

Para o INE (2009), o objetivo de desenvolver o modelo IVE foi de fornecer aos países em desenvolvimento uma ferramenta de avaliação rápida do inventário de emissões veicular, com o qual as autoridades governamentais podem avaliar as estratégias de controle e planejamento de transporte. Considerando a insuficiência na disponibilidade de dados em alguns países em desenvolvimento e a falta de experiência para usar de maneira apropriada os modelos de emissões mais complexos, IVE foi desenvolvido para:

1. Ser de fácil manuseio;
2. Ser flexível;
3. Adaptar-se a qualquer país;
5. Demandar poucos dados de entrada;
5. Utilizar medições de campo;
6. Gerar resultados consistentes com o modelo MOBILE.

Existem três componentes necessários para desenvolver um inventário de emissões de fontes móveis: 1) fatores de emissão, 2)

atividade de veículos, e 3) distribuição da frota de veículos. O modelo IVE foi concebido para utilizar a informação existente e/ou dados que podem ser facilmente reunidos para quantificar os três componentes. Uma vez que esta informação é coletada, é possível obter um inventário de emissões de fontes móveis confiável (INE, 2009).

A metodologia IVE está integrada a um aplicativo de software, conforme ilustrado na Figura 4.8. Sua interface está disponível em cinco idiomas: Chinês, Russo, Francês, Espanhol e Inglês. A versão mais recente do aplicativo – IVE Model 2.0.2 (Março de 2010) – está disponível no endereço: <http://www.issrc.org/ive/index.html>

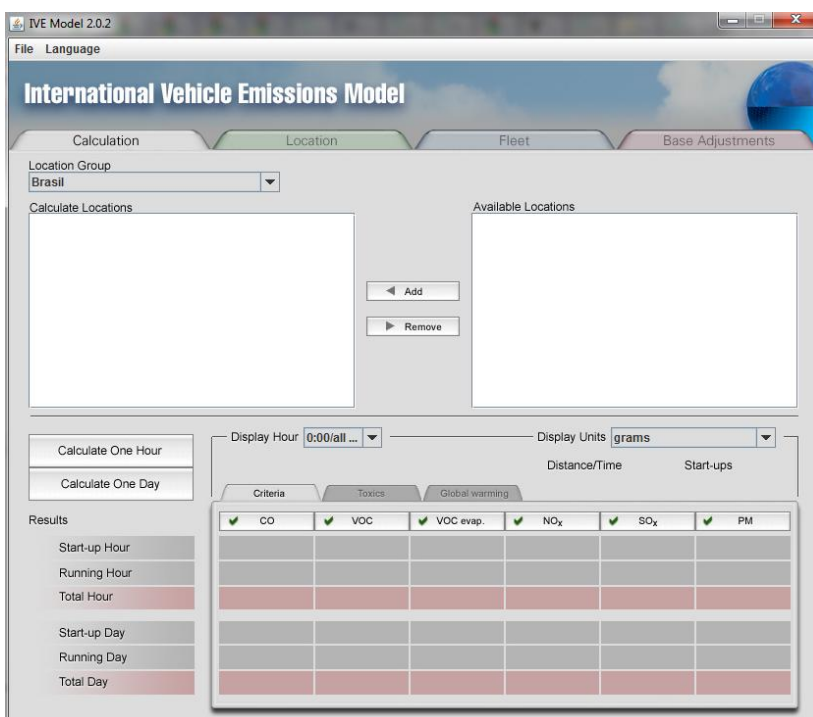


Figura 4.8 – Interface IVE 2.0.2.

Fonte: ISSRC (2008).

A Figura 4.9 mostra o processo de estimar emissões no modelo IVE. Basicamente o processo de estimação das emissões começa com a base de fatores de emissão e uma serie de fatores de correção que se aplicam para estimar os poluentes de uma variedade de tipos de

veículos. Há três componentes críticos utilizados no modelo IVE para criar inventários de emissões confiáveis:

1. Fatores de emissão de veículos (base de fatores de emissão e fatores de correção);
2. Atividade veicular (dados de entrada da cidade, são mostrados na caixa amarelo); e
3. Distribuição da frota veicular (dados de entrada da frota, mostrados na caixa amarela).

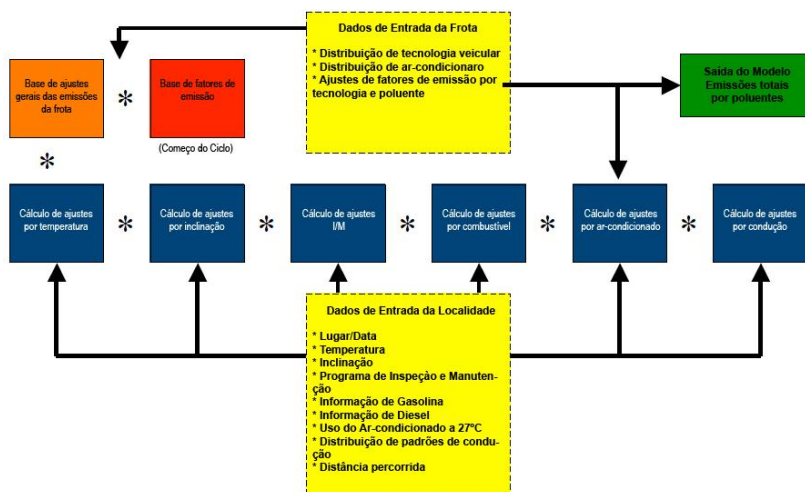


Figura 4.9 – Arquitetura do modelo IVE 2.0.2.

Fonte: ISSRC (2008).

O modelo IVE é projetado para utilizar fatores de emissão novos ou já existentes e dados locais de fácil coleta para quantificar estes três fatores essenciais. Uma vez que esta informação tenha sido coletada, um inventário de emissões pode ser facilmente modificado e adaptado para avaliar cenários alternativos. Nos casos em que não há nenhuma informação, dados de áreas urbanas comparáveis podem ser utilizados para realizar previsões até que os dados locais sejam recoletados.

4.3.1.1.2 Características do modelo IVE

De acordo com INE (2009), IVE é um modelo que estima as emissões geradas por automóveis, motocicletas, caminhões e ônibus, permitindo o uso de fatores de emissão estadunidenses (fatores de emissão MOBILE) e europeus (fatores de emissão COPERT), além da possibilidade de gerar correções para as categorias de veículos por meio de medições diretas. Em particular, prevê um total de 7 categorias de veículos, 1.372 tecnologias pré-definidas e 45 tecnologias adicionais não definidas. As tecnologias pré-definidas estão agrupadas conforme os seguintes parâmetros:

1. Tamanho do veículo (7 subcategorias incluindo caminhões);
2. Tipo de combustível (5 subcategorias);
3. Uso de veículo (3 subcategorias);
4. Sistema de alimentação do combustível (3 subcategorias);
5. Sistemas de controle de emissões evaporativas (várias subcategorias);
6. Sistemas de controle de emissões por escape (várias subcategorias).

4.3.1.2 – Modelo COPERT

O *Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport* (COPERT) é um sistema de modelagem de emissões veiculares programado em Visual Studio .Net 2003 da Microsoft e compatível com qualquer computador que equipado com o sistema operacional Windows. O modelo COPERT foi desenvolvido como ferramenta européia para calcular as emissões provenientes de veículos rodoviários (carros, motos, ônibus, caminhões) e foras-de-estrada (equipados com motores de combustão interna empregados na agricultura, silvicultura, residência e indústria). É importante destacar que modelo COPERT foi planejado especificamente para estimar emissões de veículos fabricados de acordo com a legislação européia (INE, 2009).

O desenvolvido do COPERT foi coordenado pelo Laboratório de Termodinâmica Aplicada (LAT) da Universidade Aristóteles de Salônica (Grécia) e financiado pela Agência Européia do Ambiente

(EEA, sigla em inglês), através do Centro Temático Europeu da Qualidade do Ar e Mudanças Climáticas. Este modelo foi criado com o objetivo de ser utilizado por países membros da EEA para a elaboração de inventários de emissões EMEP/CORINAIR (metodologia para realização de inventários nacionais coerentes e comparáveis entre os diversos países europeus). O COPERT é o modelo mais utilizado na Europa para cálculos de inventários de emissões do tráfego rodoviário. Para Ntziachristos et al. (2009, p. 2): “[...] 22 dos 27 países da União Européia utilizam o modelo COPERT”. Entretanto, por se tratar de um modelo genérico, muitos outros países da União têm optado em utilizar modelos próprios mais complexos, mais precisos e mais compatíveis com a realidade local (BELLASIO et al., 2007; INE, 2009; NTZIACHRISTOS et al., 2009).

A metodologia COPERT permite a elaboração de inventários nacionais anuais; entretanto, tem-se demonstrado que também pode ser utilizada, com suficiente grau de certeza, para a elaboração de inventários de emissões urbanas com uma resolução espacial de 1x1 Km.² e uma resolução temporal de 1 hora.

COPERT pode ser usado em diversas aplicações. Em princípio, foi desenvolvido para auxiliar peritos nacionais na estimativa das emissões do transporte rodoviário que devem ser incluída no inventário nacional anual oficial. No entanto, ele está disponível e livre para uso em aplicações científica, acadêmicas e de pesquisa.

A metodologia COPERT está integrada a um aplicativo de software, conforme ilustrado na Figura 4.10. A versão mais recente do aplicativo - COPERT 4 6.1 (Fevereiro de 2009) - está disponível no endereço: <http://lat.eng.auth.gr/copert/>.

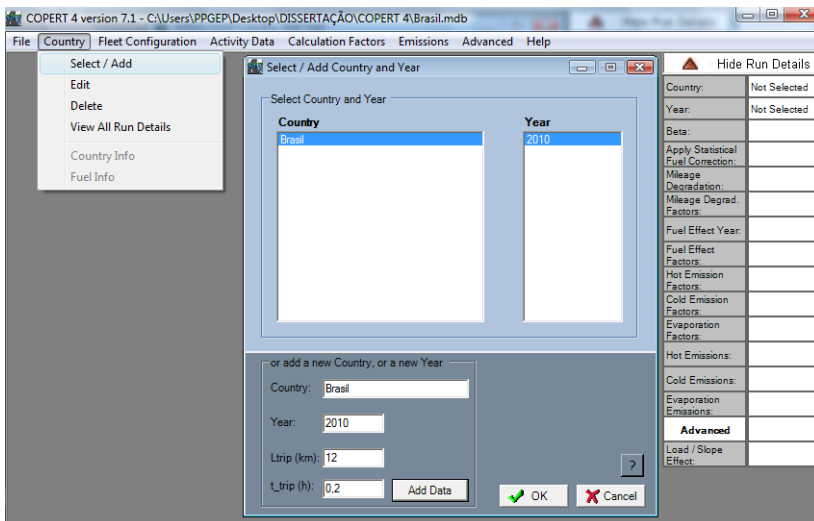


Figura 4.10 – Interface COPERT.

Fonte: GKATZOFLIAS ET AL. (2007).

4.3.1.1.2 Características do modelo COPERT

COPERT estima emissões geradas por veículos a gasolina (com e sem chumbo), diesel e GLP para 105 tipos de veículos pertencentes a seis categorias principais: automóveis de passageiros, veículos comerciais leves, veículos pesados, ônibus urbanos e rodoviários, motonetas e motocicletas.

Categoria de veículos	Descrição
Automóveis de passageiros	Veículos automotores construídos para o transporte de pessoas e comportando, no máximo, oito lugares, exceto o assento do motorista
Veículos comerciais leves	Veículos automotores construídos para o transporte de mercadorias, com um peso máximo autorizado que não exceda a 3.500 kg.
Veículos pesados	Veículos automotores destinados ao transporte de carga e cujo peso máximo autorizado exceda a 3.500

	kg (três mil e quinhentos quilos.
Ônibus urbanos e rodoviários	Veículos automotores destinados ao transporte de pessoas e que tenha mais de 8 (oito) lugares, sem contar o do condutor
Motonetas	Veículo automotor de duas ou três rodas com motor de menos de 50cc e dirigido por condutor em posição sentada.
Motocicletas	Veículo automotor de duas ou três rodas com motor de mais de 50cc e dirigido por condutor em posição montada.

Quadro 3.2 – Categorias de veículos no COPERT.

Fonte: GKATZOFLIAS et al. (2007).

Os veículos pertencentes a essas categorias principais são, então, diferenciados de acordo com o tipo de combustível (gasolina, híbrido a gasolina, diesel e GLP), as diretivas da União Européia ao qual se conformam em termos de emissões (por exemplo, PRE ECE, ECE 15/00-01, EURO 1, EURO 3, etc.), as cilindradas (< 1.4, 1.4-2.0, e > 2.0 para automóveis de passageiros a gasolina, por exemplo) e outras variáveis.

5. ESTUDO DE CASO: ESTIMAÇÃO DAS EMISSÕES VEICULARES DE POLUENTES EM SÃO LUÍS

Este estudo objetiva estimar as emissões de poluentes atmosféricos na cidade de São Luís, originadas de veículos leves (automóveis). Neste estudo serão analisadas as emissões de quatro gases: **monóxido de carbono**, **hidrocarbonetos** e os **óxidos de nitrogênio** - considerados os principais poluentes emitidos por veículos automotores; e o **aldeído** - poluente exclusivo da combustão do álcool e da gasolina brasileira, que possui até 25% de álcool. O cálculo das emissões terá como referência o ano de 2010 e irá considerar as emissões para três tipos de combustíveis: gasolina, álcool e bicombustíveis (flex), que representam aproximadamente 99,9% da frota atual em circulação.

Para os cálculos da estimativa de emissões de poluentes originadas de veículos leves em São Luís, foi adotada a metodologia utilizada pela CETESB no desenvolvimento de seus inventários para o estado de São Paulo que, por sua vez, é uma adaptação da metodologia desenvolvida pela EPA/EUA.

Essa metodologia adota uma abordagem *bottom-up*, estimando o total de emissões a partir de fatores de emissões médios para cada ano-modelo de veículo, nos quais são aplicados fatores de deterioração, multiplicados pela frota de cada ano-modelo em um determinado ano multiplicado pela quilometragem percorrida pelos veículos. Assim, podem-se estimar as emissões de origem veicular E de um poluente p em um ano t através de:

$$E_{p,t} = \sum_{c,i} (NV_{c,i,t} \times DM_{c,i,t} \times FE_{c,i,p} \times FD_{c,i,p}), \quad (5.1)$$

Onde:

E são as emissões de origem veicular de um poluente p em um ano t

i é a parcela da frota fabricada em cada ano (“ano-modelo”);

c é o tipo de combustível empregado (gasolina, álcool, flex)

NV é o número de veículos ano-modelo i em circulação no ano t

DM é a distância média percorrida em quilômetros pelos veículos ano-modelo i no ano t ;

FE é o fator médio de emissão dos veículos novos ano-modelo i , função das configurações dos veículos e tipo de combustível c ;

FD é o fator de deterioração das emissões de um veículo ano-modelo *i* no ano *t*.



















As seções seguintes tratam de cada uma dessas variáveis, com as considerações em relação à adaptação para a frota local. Inicialmente, é apresentado o perfil da frota considerada da cidade de São Luís, para o ano de 2010. Em seguida, são abordados a distância média percorrida, os fatores médios de emissões e os fatores de deterioração das emissões.

5.1 PERFIL DA FROTA CONSIDERADA

As principais fontes de dados da frota nacional na literatura são o anuário da indústria automobilística brasileira, o anuário estatístico dos transportes e as estatísticas do DETRAN de cada Estado. Estas três fontes, acrescidas dos relatórios publicados pela CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo), constituem-se nas principais fontes de dados para a pesquisa.

A frota considerada para São Luís consiste em automóveis a gasolina e/ou a álcool cadastrados no DETRAN-MA e em circulação no ano de 2010, sendo desconsiderados os veículos que possuem combustíveis diferentes dos analisados, tais como: diesel e gás natural veicular. O levantamento dos dados apresentados foi realizado em janeiro de 2011. A frota total de veículos leves em circulação em 2010 foi de 145.963 automóveis, o que corresponde a aproximadamente 58,5% de todos os veículos em circulação na capital maranhense.

Tabela 5.1 – Frota de veículos do município de São Luís

Tipo	Quantidade	%	Gráfico
Automóvel	145.963	58,47	
Motocicleta	52.852	21,17	
Caminhonete	19.599	7,85	
Camioneta	10.425	4,18	
Caminhão	7.043	2,82	
Motoneta	3.834	1,54	
Ônibus	3.090	1,24	
Utilitário	2.292	0,92	
Reboque	1.675	0,67	
Microônibus	1.138	0,46	
Semi-reboque	655	0,26	
Caminhão-trator	620	0,25	
Ciclomotor	374	0,15	
Triciclo	56	0,02	
Side-car	9	0	
Trator de rodas	6	0	
Não informado	6	0	
Trator misto	3	0	
Total:	249.640	100.00	

FONTE: DETRAN-MA (2010).

Para o cálculo da estimativa de emissões veiculares, conforme apresentado na Equação (5.1), é imprescindível a quantificação dos veículos em circulação por ano de fabricação e por tipo de combustível. A caracterização da frota por ano de fabricação foi feita através de um levantamento estatístico disponível no site do Departamento Estadual de Trânsito do Maranhão, e apresenta-se conforme a Tabela 5.2.






Tabela 5.2 – Quantidade de veículos leves em circulação por ano de fabricação

Ano	Quantidade de veículos	Ano	Quantidade de veículos	Ano	Quantidade de veículos
< 1988	1.312	1995	1.128	2003	4.206
1988	277	1996	1.376	2004	5.451
1989	244	1997	1.738	2005	7.614
1990	288	1998	1.972	2006	10.122
1991	390	1999	1.905	2007	20.649
1992	390	2000	2.841	2008	24.746
1993	586	2001	3.400	2009	24.936
1994	922	2002	3.708	2010	25.762

FONTE: DETRAN-MA (2010).

O DETRAN-MA apresenta, também, para o município de São Luís, estatísticas agregadas da quantidade de veículos por combustível, conforme a Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Frota de veículos do município de São Luís por combustível

Combustível	Quantidade	%	Gráfico
Gasolina	118.436	47,44	
Álcool/Gasolina	97.331	38,99	
Diesel	24.718	9,9	
Álcool	6.749	2,7	
Sem Combustível	2.351	0,94	
Gasolina/GNV	38	0,02	
Elétrico (fonte interna)	5	0	
Gasolina/GNC	3	0	
Álcool/GNC	3	0	
Álcool/GNV	2	0	
Gasogênio	2	0	
Álcool/Gasolina/GNV	1	0	
Não informado	1	0	
Total:	249.640	100.00	

FONTE: DETRAN-MA (2010).

Infelizmente esta quantificação por combustível não é detalhada por tipo de veículos (motocicleta, caminhão, ônibus, automóvel etc.) e

nem por ano de fabricação, como requer a Equação 5.1. Desta forma, estes dados não serão úteis para o cálculo da estimativa de emissões.

Para fazer uma distribuição da quantidade de veículos leves por ano de fabricação por tipo de combustível, precisa-se recorrer ao “Anuário da Indústria Automobilística Brasileira”. Este anuário apresenta a distribuição percentual da produção de automóveis nacional por tipo de combustível e a distribuição percentual de licenciamento de veículos novos por combustível, de 1957 a 2009.

Na Tabela 5.4 é apresentada a distribuição percentual da produção de automóveis nacional por tipo de combustível. Estes dados são levantados anualmente pela Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores – ANFAVEA e disponíveis no “Anuário da Indústria Automobilística Brasileira”.

Tabela 5.4 – Produção por combustível – Distribuição percentual – 1980/2010

Ano	Gasolina	Álcool	Flex	Ano	Gasolina	Álcool	Flex
1980	74,4	25,6	-	1996	99,0	0,4	-
1981	79,4	20,6	-	1997	98,8	0,1	-
1982	60,6	31,9	-	1998	97,3	0,1	-
1983	24,3	73,4	-	1999	96,3	0,9	-
1984	25,6	73,1	-	2000	96,6	0,7	-
1985	23,9	75,5	-	2001	97,7	1,0	-
1986	23,4	76,0	-	2002	95,8	3,2	-
1987	39,7	56,8	-	2003	94,1	2,1	2,6
1988	36,9	63,0	-	2004	80,5	2,7	15,2
1989	52,4	47,3	-	2005	57,2	2,2	38,6
1990	89,1	10,8	-	2006	39,0	0,0	59,7
1991	81,6	18,3	-	2007	27,0	0,0	71,9
1992	79,4	20,0	-	2008	21,0	0,0	78,0
1993	78,5	20,7	-	2009	12,5	0,0	87,0
1994	89,7	9,6	-	2010	-	-	-
1995	97,1	2,5	-	-	-	-	-

FONTE: ANFAVEA (2010).

Através da Tabela 5.4 percebe-se que desde 2006 não é produzido nenhum veículo a álcool no país – combustível que chegou a predominar nos anos 80. A produção de veículos bicomcombustíveis (álcool e gasolina), o chamado flexs, iniciou em 2003 e desde então tem apresentado um crescimento vertiginoso nos últimos anos. Espera-se

que a produção de veículos flex se aproxime dos 100% nos próximos anos. Já a produção de veículos a gasolina tem caído nos últimos anos. Hoje, com a grande aceitação dos automóveis flexs no mercado interno, a produção de veículos a gasolina tem se restringido a exportação, uma vez que a maioria dos brasileiros já não está disposta a comprar veículos a gasolina.

Estas informações, da produção por combustível, podem ser utilizadas para quantificação de veículos leves por ano de fabricação e por tipo de combustível. Por exemplo, da quantidade de automóveis em circulação em São Luís, 24.936 foram fabricados em 2009. Aplicando a distribuição percentual da Tabela 5.4, tem-se que aproximadamente 21.694 são flex, ou seja, 87% do total, enquanto que 3.242 são movidos a gasolina, 12,5% do total de veículos.

Outra forma de quantificar a quantidade de veículos de um determinado ano de fabricação por combustível é através da distribuição percentual do licenciamento de veículos novos por combustível, conforme a Tabela 5.5.

**Tabela 5.5 – Licenciamento de veículos novos por combustível –
Distribuição percentual – 1980/2010**

Ano	Gasolina	Álcool	Flex	Ano	Gasolina	Álcool	Flex
1980	71,5	28,5	0	1996	99,5	0,5	-
1981	71,3	28,7	0	1997	99,9	0,1	-
1982	61,9	38,1	0	1998	99,9	0,1	-
1983	11,5	88,5	0	1999	99,0	1,0	-
1984	5,4	94,6	0	2000	99,2	0,8	-
1985	4,0	96,0	0	2001	98,8	1,2	-
1986	7,9	92,1	0	2002	96,1	3,9	-
1987	5,6	94,4	0	2003	93,6	3,0	3,5
1988	11,6	88,4	0	2004	74,6	3,8	21,5
1989	39,0	61,0	0	2005	44,5	2,3	53,2
1990	86,8	13,2	0	2006	16,8	0,1	83,1
1991	78,4	21,6	0	2007	9,4	0,0	90,6
1992	72,3	27,6	0	2008	5,8	0,0	94,2
1993	74,7	25,1	0	2009	4,6	0,0	95,4
1994	89,3	10,6	0	2010	-	-	-
1995	97,7	2,3	0	-	-	-	-

FONTE: ANFAVEA (2010).

Estas informações também estão dispostas no “Anuário da Indústria Automobilística Brasileira” da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores – ANFAVEA.

Observando a Tabela 5.5 percebe-se que há uma diminuição percentual de veículos a gasolina e um aumento de veículos flex. Isso se explica porque, como dito, a produção de veículos a gasolina no país é destinado ao mercado externo. É como se aproximadamente 2/3 dos veículos produzidos a gasolina fossem exportados e apenas 1/3 consumidos. Quanto aos veículos flex, observou-se no Anuário que o Brasil consome mais veículos flex do produz. De 2003 a 2009 foram 8.294.291 veículos flex produzidos e 8.555.592 veículos flex licenciados. Isso explica porque há um aumento percentual na distribuição de veículos flex no licenciamento de veículos novos ante a produção nacional (ANFAVEA, 2010).

Os dados de licenciamento de veículos novos por combustível representam melhor a distribuição de combustíveis no Brasil, uma vez que além de considerarem a produção nacional levam em conta os veículos importados.

Para a quantificação dos automóveis em circulação em São Luís, por ano e por tipo de combustível, utilizou-se como critério o licenciamento de veículos novos (Tabela 5.5).

A Tabela 5.6 apresenta em detalhe como ficou esta quantificação para a frota de veículos leves na capital maranhense.

Tabela 5.6 – Veículos leves em circulação por ano de fabricação e combustível

Ano	Gasolina	Álcool	Flex	Ano	Gasolina	Álcool	Flex
<1988	392	920	0	1999	1.886	19	0
1988	32	245	0	2000	2.818	23	0
1989	95	149	0	2001	3.359	41	0
1990	250	38	0	2002	3.563	145	0
1991	306	84	0	2003	3.937	126	147
1992	282	108	0	2004	4.066	207	1.172
1993	438	147	0	2005	3.388	175	4.051
1994	823	98	0	2006	1.700	10	8.411
1995	1.102	26	0	2007	1.941	0	18.708
1996	1.369	7	0	2008	1.435	0	23.311
1997	1.736	2	0	2009	1.147	0	23.789
1998	1.970	2	0	2010	1.185	0	24.577

FONTE: DETRAN-MA (2010) e ANFAVEA (2010).

O Anuário da Indústria Automobilística Brasileira apresenta na sua edição de 2010, a distribuição percentual de combustível de 1957 a 2009. Para a quantificação dos automóveis 2010 por tipo de combustível considerou-se os mesmos percentuais de 2009, ou seja, 4,6 para automóveis a gasolina e 95,4 para automóveis a flex.

Como visto na apresentação deste capítulo, serão estimadas as emissões de poluentes veiculares para automóveis abastecidos a álcool, gasolina e flex (álcool ou gasolina). Nesta análise não serão levadas em conta automóveis abastecidos por outros tipos de combustíveis, tal com o diesel. Ocorre que a participação de outros combustíveis na frota nacional é inexpressível, de tal forma que a CETESB ao estimar fatores médios de emissão de veículos leves novos, desconsiderou outros tipos de combustíveis.

No Anuário da Indústria Automobilística Brasileira observou-se que, entre o período de 1957 a 2009, 2.995 automóveis novos a diesel foram licenciados. Isso representa 0,01% do total de veículos licenciados no período. O licenciamento de automóveis novos a diesel se concentrou entre os anos de 1990 a 1994. Nesse período a participação percentual de veículos a diesel foi de 0,01%, 0,05%, 0,08%, 0,13% e 0,09%, respectivamente. Aplicando esta distribuição percentual para o período e para a frota em circulação do município de São Luís, tem-se que 2 (dois) automóveis do total da amostra foram considerados como veículos a diesel. Estes veículos serão desprezados para fins de cálculo da estimativa de emissões veiculares. Ao total foram desprezados 1 veículo referente ao ano de 1993 e 1 referente ao ano de 1994. Isto representa aproximadamente 0,001% do total de veículos leves em circulação na cidade. É um percentual inexpressivo, porém, ainda sim será desconsiderado na análise.

Na Tabela 5.7 está demonstrada a frota considerada; na Figura 5.1 é apresentado o perfil em relação ao ano de fabricação desta frota.

Tabela 5.7 – Frota considerada

Combustível	Frota cadastrada	Frota considerada	Veículos desprezados
Gasolina	39.223	39.223	0 (0%)
Álcool	2.571	2.571	0 (0%)
Flex	104.166	104.167	0 (0%)
Outros	2	-	2 (100%)
Total	145.963	145.961	2 (0,001%)

FONTE: Autor.

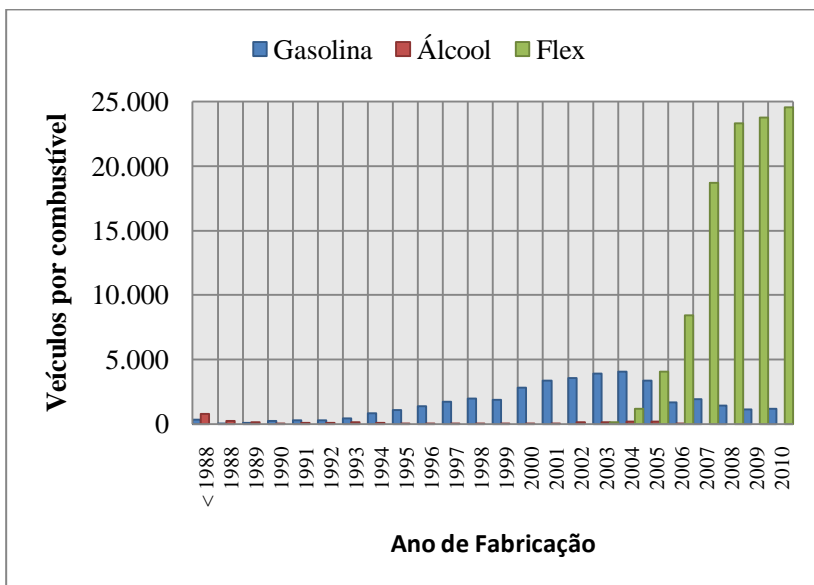


Figura 5.1 – Perfil da frota considerada – ano 2010.

Fonte: Autor.

5.2 DISTÂNCIA MÉDIA ANUAL PERCORRIDA

A distância média percorrida pelos veículos (ou quilometragem média veicular) é um parâmetro básico na determinação das emissões de gases de efeito estufa. Entretanto, não existem, para a frota nacional, séries temporais oficiais para essa variável, devendo-se adotar um método para a sua estimativa. Nesse trabalho, foram utilizadas as estimativas da PETROBRAS, nas quais a quilometragem média veicular é função da idade do veículo, do preço do combustível e do nível de renda da população (MCT, 2006). Considerando que tais dados não se encontram disponíveis para a cidade de São Luís em anos anteriores, são adotados os valores estimados pela CETESB da distância média anual percorrida em seus inventários. Estes valores, que são função da idade da frota, podem ser vistos na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 – Valores da distância média percorrida adotados pela CETESB

Idade (anos)	Dist. média anual (km)	Idade (anos)	Dist. média anual (km)	Idade (anos)	Dist. média anual (km)
Até 1	22.000	5	14.000	9	13.000
2	19.000	6	14.000	10	13.000
3	17.000	7	14.000	+11	9.500
4	15.000	8	13.000		

FONTE: Adaptado de CETESB (1999).

Essas distâncias médias foram determinadas pela CETESB para a cidade de São Paulo em 1982 e podem não representar, necessariamente, a quilometragem observada nos dias de hoje. Além disso, a distância média dos veículos depende de como cada área urbana está organizada (LIMA; GIMENES; LIMA, 2009).

Pode-se observar nesta distribuição apresentada na Tabela 5.8 que os veículos mais novos percorrem maiores distâncias por unidade de tempo que os veículos mais antigos. Isto pode ser explicado pelo fato de que os veículos mais novos normalmente pertencem aos usuários com maior poder aquisitivo – geralmente mais propensos a arcar com os custos diretos e indiretos de manter um veículo em circulação por mais tempo que comparado aos menos abastados.

Em geral os veículos mais novos são usados mais freqüentemente por representar maior confiabilidade, como menor risco de ficar na estrada. Problemas iniciais podem ser sanados sem ônus pela garantia, que é em geral de um ano, embora às vezes seja limitada pela quilometragem. A mão-de-obra das primeiras revisões é gratuita e os custos de manutenção são mais baixos, pois ainda não é preciso substituir itens caros como pneus, embreagem e amortecedores.

Todo o conjunto do carro é mais agradável no início. Com o passar do tempo, surgem folgas, imprecisões e desgastes que não inviabilizam o uso, mas reduzem aos poucos a segurança e o prazer de dirigir. Desta forma, quanto maior é a idade de um veículo menor é a quilometragem percorrida por este no decorrer de um ano. Conclui-se que a idade de um veículo e a quilometragem média anual são grandezas inversamente proporcionais.

5.3 FATORES DE EMISSÃO

Os fatores médios de emissão de veículos leves novos utilizados para o cálculo das emissões foram obtidos diretamente por meio de medições da CETESB. Desta forma, os valores dos fatores médios de emissão adotados para HC, CO, NO_x e RCHO, desagregados por ano/modelo e combustível (gasolina C, álcool hidratado e flex), são os mesmos empregados pela CETESB em seu inventário de emissões veiculares.

A CETESB obteve os fatores de emissão de monóxido de carbono, hidrocarbonetos, óxidos de nitrogênio, aldeídos e dióxido de carbono para as emissões de tubo de escape - decorrentes do processo de combustão, e também para emissões evaporativas de combustível.

De acordo com o MCT (2006), para os veículos novos, os fatores de emissões de tubo de escape (ou de exaustão) são determinados por meio de ensaios conforme a norma NBR – 6601 – Análise dos Gases de Escapamento de Veículos Rodoviários Automotores Leves a Gasolina. Neste teste o veículo é submetido, em um dinamômetro, a ensaios que simulam um ciclo considerado como característico para as vias públicas, apresentando as seguintes condições: velocidade média em tráfego urbano de 31,5 km/h; temperatura ambiente de 20° a 30° C; umidade relativa do ar de 40 a 60% e ciclo padrão FTP-75.

Os fatores de emissão para um determinado ano são o resultado de médias ponderadas dos fatores de emissão de cada modelo de veículo desse ano, pelo volume da produção de veículos. Já os fatores de emissão para o dióxido de carbono foram obtidos por meio de cálculo estequiométrico⁶. Os resultados obtidos pela CETESB para veículos leves novos encontram-se na tabela 3.10 do capítulo 3.

Este trabalho não leva em conta as emissões evaporativas de combustível nem as emissões de combustão do dióxido de carbono. O CO₂ não é um gás nocivo ao homem e apenas recentemente, em 2002, foi considerado um poluente por ser o principal causador do efeito estufa.

⁶ Cálculo estequiométrico (ou Estequiometria) é o cálculo da quantidade de reagentes e produtos da reação, baseado nas leis das reações químicas.

5.4 FATORES DE DETERIORAÇÃO

Para Lima, Gimenes e Lima (2009), como os fatores de emissão da CETESB são referentes a veículos novos, estes fatores de emissão devem ser corrigidos por fatores de deterioração. As emissões de HC, CO, NOx e CO₂ tendem a aumentar conforme o uso do veículo, mesmo havendo manutenção adequada. Isto se deve ao desgaste de peças e componentes, que afetam o funcionamento do motor. Estes fatores de deterioração representam o impacto desse desgaste do motor nas emissões em função do uso do veículo.

Os fatores de emissão para veículos usados são obtido multiplicando-se os fatores de emissão dos veículos novos por um fator de deterioração (FD). Destarte, o fator de emissão para uma determinada quilometragem passa a ser:

$$FE = FE_{\text{veículo novo}} \times FD \quad (5.2)$$

São adotados dois grupos de fatores de deterioração: os adotados pela CETESB na elaboração de seus inventários e os do AP-42⁷ da EPA (EPA, 1995). Os fatores de deterioração adotados pela CETESB são baseados na EPA/USA, sendo disponíveis fatores de deterioração para hidrocarbonetos e monóxido de carbono para veículos a gasolina, apresentados a seguir na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 – Fatores de deterioração adotados pela CETESB

Ano de fabricação	HC	CO	NOx
Antes de 1977	$FD = \frac{7,50 + 0,18 \times Y}{7,50}$	$FD = \frac{78,27 + 2,5 \times Y}{78,27}$	1
Após 1977	$FD = \frac{4,43 + 0,25 \times Y}{4,43}$	$FD = \frac{56,34 + 2,5 \times Y}{56,34}$	1

FONTE: Adaptado de MCT (2006).

Na Tabela 5.9, Y representa a razão entre a quilometragem acumulada e dez mil milhas. De acordo com MCT (2006), o valor de Y é limitado a 6,21, porque se admite que o veículo após percorrer

⁷ Compilação de fatores de emissão, usados para a elaboração de inventários de emissões.

100.000 km tenha estabilizado a degradação nas emissões. Assim, o valor de Y é dado por:

$$Y = \begin{cases} \frac{km \text{ acum.}}{1,61 \times 10.000}, & \text{se } km \text{ acum.} \leq 100.000 \\ 6,21, & \text{se } km \text{ acum.} \geq 100.000 \end{cases} \quad (5.3)$$

Para cada poluente, os fatores de deterioração da CETESB se dividem em veículos fabricados no País antes de 1977 e após 1977, que correspondem aos fatores de deterioração de modelos pré-68 e pós-68 fabricados nos EUA, respectivamente. Ou seja, a CETESB adota nos seus inventários, para os veículos fabricados no País anteriores a 1997, fatores de deterioração de modelos pré-68 fabricados nos Estados Unidos, enquanto que para os veículos fabricados a partir de 1977, a CETESB utiliza fatores de deterioração americanos para os modelos fabricados pós-68 (LIMA; GIMENES; LIMA, 2009).

Em relação ao óxido de nitrogênio, o fator de deterioração é considerado igual a 1. Segundo o MCT (2006), isto se deve a tendência da diminuição da emissão deste gás pelo desgaste dos anéis dos pistões e pela conseqüente diminuição da pressão dentro dos cilindros e da temperatura dos gases. No caso dos aldeídos, neste trabalho foi considerado que a deterioração seja semelhante a dos hidrocarbonetos (LIMA; GIMENES; LIMA, 2009; MCT, 2006).

De acordo com o MCT (2006), como a frota veicular é calculada para o final do ano, o fator de deterioração, deve ser também aplicado nos veículos fabricados no último ano, cuja média de idade é de meio ano.

Para os veículos movidos a álcool e a combustível flex, como seus padrões de emissão se assemelham aos dos veículos movidos a gasolina, serão usados os mesmos fatores de deterioração.

Segundo Lima, Gimenes e Lima (2009), uma consideração que deve ser feita em relação aos fatores de deterioração adotados pela CETESB é que estes foram determinados para automóveis americanos com mais de 30 anos e sem dispositivos de controle de poluição. Para Mendes (2004, apud LIMA, GIMENES e LIMA, 2009), este perfil não representa fielmente os padrões de emissão e deterioração dos veículos nacionais mais recentes. Além do mais, os fatores de deterioração da CETESB são divididos para veículos antes e depois de 1977. No caso da frota considerada (a partir de 1980), a deterioração seria igual para todos

os veículos, o que pode não ocorrer pela deterioração dos veículos mais recentes também incorporar a degradação dos sistemas de redução de emissões, em especial a do catalisador. Portanto, os fatores de deterioração do AP-42 também foram adotados na estimativa das emissões (LIMA; GIMENES; LIMA, 2009).

Para a escolha dos fatores de deterioração, foi adotado o mesmo procedimento de Mendes (2004, apud LIMA, GIMENES e LIMA, 2009), em que os fatores de emissão de monóxido de carbono, hidrocarbonetos e óxido de nitrogênio para gasolina C (comum) foram confrontados aos valores de ZML (emissão a zero milha) do AP-42, selecionando os mais próximos (em g km⁻¹), como pode ser visto nas Tabelas 5.10, 5.11 e 5.12. Os fatores de deterioração foram escolhidos de forma a coincidir com as fases do PROCONVE (LIMA; GIMENES; LIMA, 2009).

A partir dos valores de ZML, DR1 e DR2, o fator de deterioração é determinado pela equação (5.4).

$$FD = \frac{BER}{ZML} \quad (5.4)$$

$$BER = \begin{cases} ZML + DR1 \times Y, & \text{se } Y \leq 5 \\ ZML + DR1 \times 5 + DR2 \times (Y - 5), & \text{se } Y > 5 \end{cases} \quad (5.5)$$

Em que:

FD: fator de deterioração

BER: taxa de emissão básica da exaustão [g/mi]

ZML: emissão a zero milha [g/mi]

DR1: taxa de deterioração milhagem acumulada ≤ 50 K milhas [g/mi/10Kmi]

DR2: taxa de deterioração milhagem acumulada > 50 K milhas [g/mi/10Kmi]

Tabela 5.10 – Fatores de deterioração da EPA - HC

AP-42				
Ano de fabricação	ZML (g mi ⁻¹)	ZML (g km ⁻¹)	DR1	DR2
< 1988	0,272	0,169	0,099	0,269
1988	0,257	0,414	0,070	0,265
1989	0,258	0,415	0,073	0,277

1990	0,260	0,419	0,075	0,280
1991	0,261	0,420	0,075	0,281
1992-1993	0,261	0,420	0,076	0,283
1994	0,247	0,398	0,074	0,279
1995	0,233	0,375	0,073	0,275
1996	0,210	0,338	0,072	0,273
1997	0,193	0,311	0,072	0,273
1998+	0,184	0,296	0,072	0,273

FONTE: Elaborado a partir de dados de EPA (1995).

Tabela 5.11 – Fatores de deterioração da EPA - CO

AP-42				
Ano de fabricação	ZML (g mi ⁻¹)	ZML (g km ⁻¹)	DR1	DR2
< 1988	3,383	2,101	1,488	3,292
1988	2,490	1,547	1,289	3,286
1989	2,424	1,506	1,343	3,423
1990	2,203	1,368	1,423	3,407
1991	2,166	1,345	1,439	3,419
1992+	2,147	1,334	1,448	3,434

FONTE: Elaborado a partir de dados de EPA (1995).

Tabela 5.12 – Fatores de deterioração da EPA - NOx

AP-42				
Ano de fabricação	ZML (g mi ⁻¹)	ZML (g km ⁻¹)	DR1	DR2
< 1988	0,645	0,401	0,077	0,193
1988	0,483	0,300	0,077	0,204
1989	0,478	0,297	0,080	0,198
1990	0,464	0,288	0,082	0,189
1991	0,465	0,289	0,082	0,188
1992-1993	0,467	0,290	0,083	0,186
1994	0,365	0,227	0,083	0,189
1995	0,240	0,149	0,083	0,193
1996+	0,178	0,111	0,083	0,195

FONTE: Elaborado a partir de dados de EPA (1995).

5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores das emissões totais de monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio (NOx) e aldeídos (RCHO) para veículos leves (automóveis) em circulação em São Luís foram estimados para o ano de 2010. Nos Apêndices de A e M estão detalhadas as planilhas utilizadas no cálculo das emissões, bem como todas as variáveis e valores usados na estimativa.

A Tabela 5.13 apresenta a quantificação das emissões de poluentes para a cidade de São Luís utilizando os fatores de deterioração do AP-42; enquanto que a Tabela 5.14 apresenta a quantificação utilizando os fatores de deterioração adotados pela CETESB no cálculo de seus inventários.

Tabela 5.13 – Quantificação da emissão de poluentes em 2010 para São Luís (Fator de deterioração do AP-42)

Poluentes/Combustível	CO	HC	NOx	RCHO
Gasolina	1.045	126	136	4
Álcool	341	34	24	3
Flex	1.901	201	144	9
Total	3.287	362	305	16

Fonte: Autor.

Tabela 5.14 – Quantificação da emissão de poluentes em 2010 para São Luís (Fator de deterioração adotado pela CETESB)

Poluentes/Combustível	CO	HC	NOx	RCHO
Gasolina	637	92	93	3
Álcool	237	27	21	2
Flex	867	124	76	5
Total	1.742	243	190	11

Fonte: Autor.

Analisando os resultados obtidos observa-se uma diferença perceptível nas emissões totais de cada poluente, devido aos fatores de

deterioração adotados. As diferenças observadas foram de 47%, 33%, 38% e 31% respectivamente para CO, HC, NOx e RCHO.

O CO é o poluente que apresenta as maiores taxas de emissões, com aproximadamente 80% do total das emissões analisadas. As emissões de HC, NOx e RCHO representam 10%, 8% e 1% do total.

As maiores emissões de poluentes foram observadas para os veículos flex. Isto se deve as altas concentrações de veículos flex na frota local. Os veículos flex representam 71% da frota total, enquanto que veículos a gasolina e a álcool representam 27% e 2% da frota.

Observando as planilhas de cálculo tem-se que os veículos a álcool eram maioria na década de 80; os veículos a gasolina dominaram a década de 90, e já no início do século 21 os veículos flex passaram a predominar. Os veículos a álcool representam 2% da frota total e correspondem a aproximadamente 10% do total das emissões dos poluentes analisados; enquanto que os veículos a gasolina representam 27% da frota e 32% das emissões e os flex 71% da frota e 58% das emissões de CO, HC, NOx e RCHO. Fica perceptível a evolução tecnológica em nível de combustível e veículos o que garante uma emissão menor de poluentes por veículos.

Para melhor análise do impacto da quantidade de veículos nas emissões, o perfil da frota (gasolina, álcool e flex) é traçado em cada gráfico. Nas Figuras 5.2 a 5.5 são apresentados os perfis de emissões de CO, HC, NOx e RCHO para os veículos a gasolina; nas Figuras 5.5 a 5.9 para os veículos a álcool e nas Figuras 5.10 a 5.13 para os veículos flex.

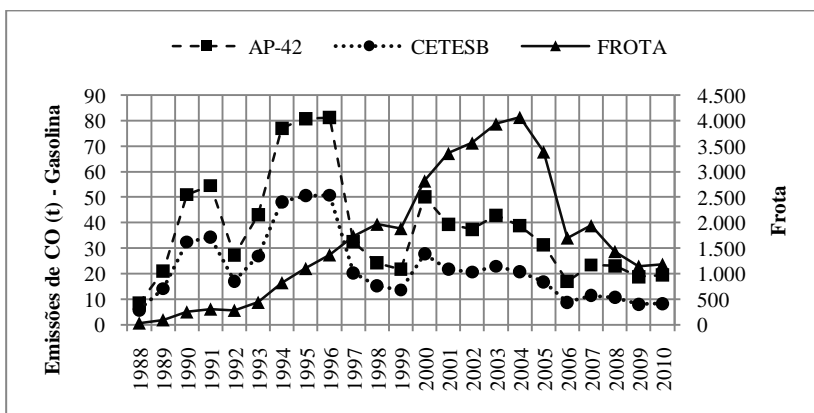


Figura 5.2 – Perfil de emissões de CO – veículos a gasolina.

Fonte: Autor.

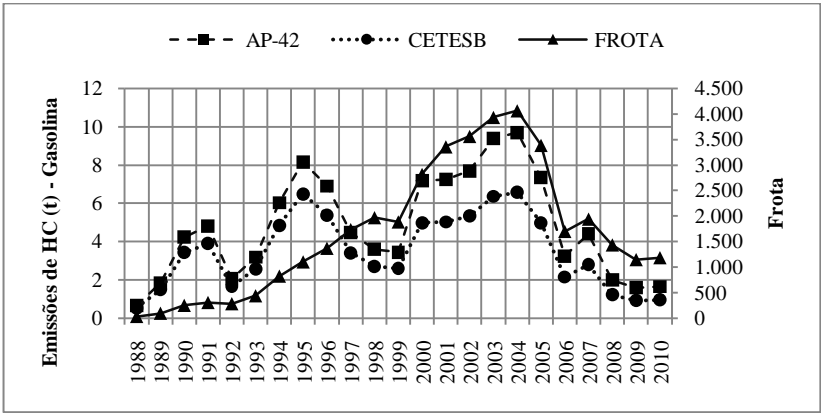


Figura 5.3 – Perfil de emissões de HC – veículos a gasolina.
Fonte: Autor.

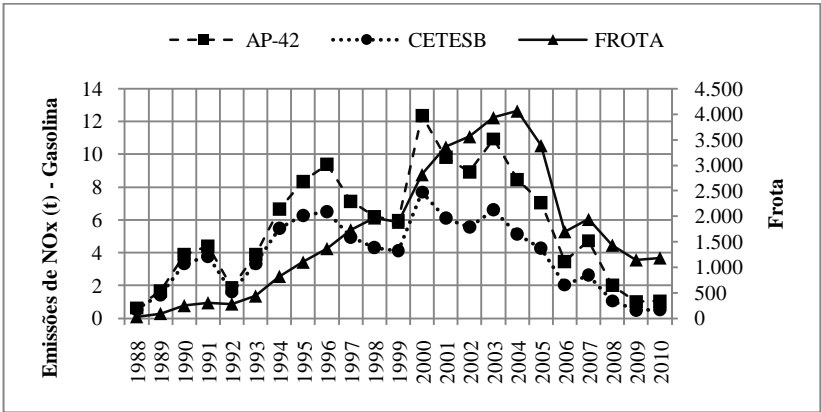


Figura 5.4 – Perfil de emissões de NOx – veículos a gasolina.
Fonte: Autor.

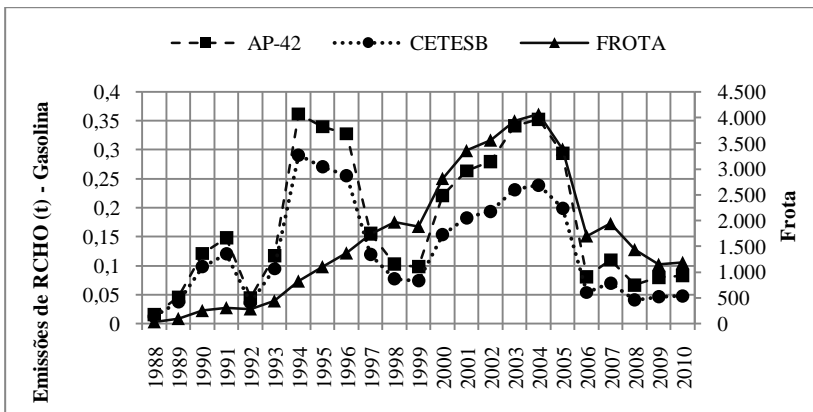


Figura 5.5 – Perfil de emissões de RCHO – veículos a gasolina.

Fonte: Autor.

A respeito das emissões dos veículos movidos a gasolina, observa-se um aumento significativo de veículos a gasolina com ano de fabricação a partir de 1988 até 2004. Em 2005, quando os veículos flex passaram a ser maioria nas vendas, houve um decréscimo acentuado de veículos a gasolina.

A quantificação das emissões utilizando os fatores de deterioração da CETESB e do AP-42 tem comportamentos parecidos. Ambas apresentam crescimentos obedecendo o aumento da quantidade de veículos por ano de fabricação e apresentam de fortes quedas em 1992, 1997 e 2005. Estas quedas estão relacionadas a entrada em vigor das fases do PROCONVE L-2, em 1992, L-3, em 1997 e L-4 em 2005. Com a entradas destas fases do Programa Nacional de Controle da Poluição Veicular houve uma diminuição acentuada nos fatores médios de emissão de veículos leves novos para CO, HC, NOx e RCHO. Em 1992 a redução dos fatores médios de emissão para os poluentes analisados foi de 73% em relação ao ano anterior. Em 1997 e 2005 a redução foi de 89% e 95% - isto explica as quedas vistas nos gráficos.

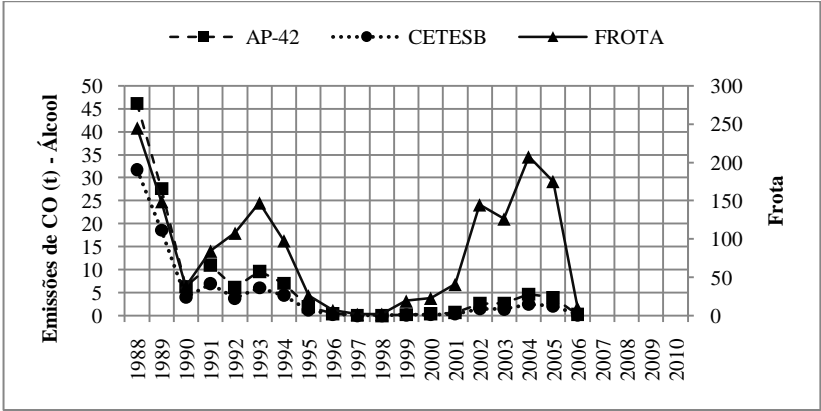


Figura 5.6 – Perfil de emissões de CO – veículos a álcool.

Fonte: Autor.

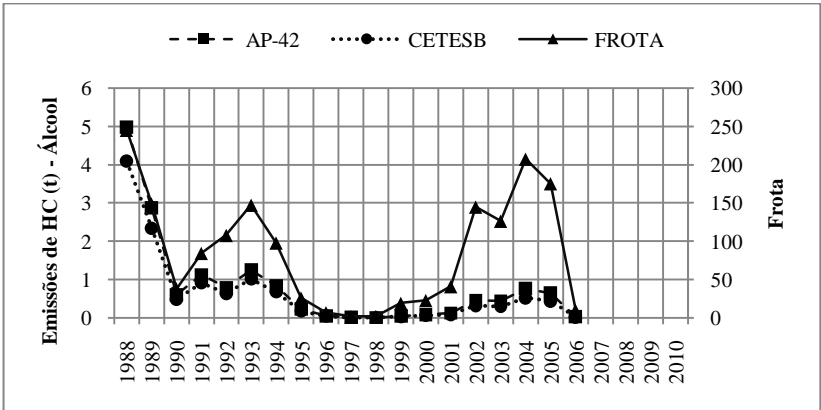


Figura 5.7 – Perfil de emissões de HC – veículos a álcool.

Fonte: Autor.

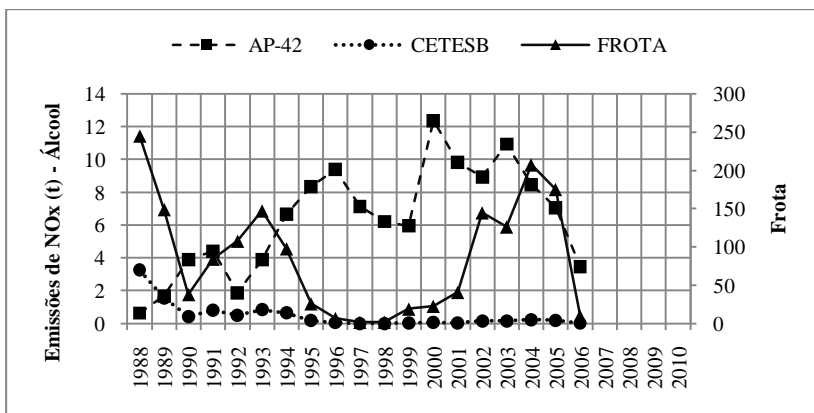


Figura 5.8 – Perfil de emissões de NOx – veículos a álcool.

Fonte: Autor.

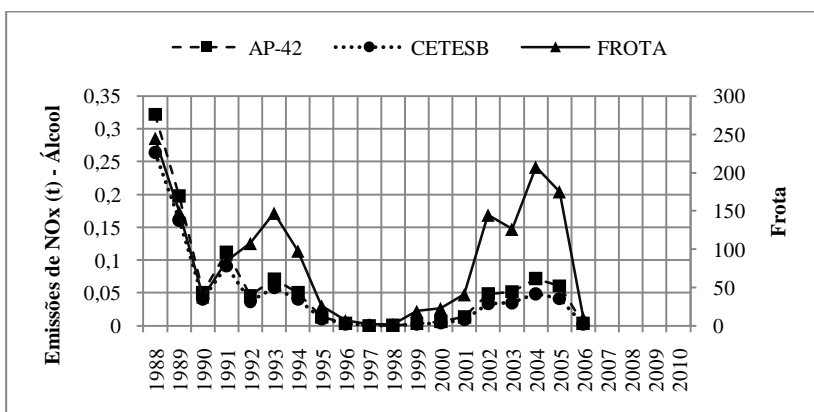


Figura 5.9 – Perfil de emissões de RCHO – veículos a álcool.

Fonte: Autor.

A respeito das emissões dos veículos movidos a álcool, observa-se que enquanto estas apresentam um comportamento linear, diminuindo com o passar dos anos; a quantidade de veículos a álcool por ano de fabricação apresentam um comportamento oscilatório. Observando os gráficos percebe-se que as emissões utilizando os fatores de deterioração da CETESB e do AP-42 estão quase sobrepostas. A grande diferença apresentada nas emissões dos dois fatores é decorrente das emissões originadas por veículos com ano de fabricação anteriores a 1990. A partir de 1990 as emissões são próximas ao passo que nos anos

anteriores há grandes diferenças. Por exemplo, para CO, de 1990 a 2010 a diferença nas emissões foi de 22,7 toneladas enquanto que para veículos com ano de fabricação anteriores a 1990 a diferença foi de 81,5 toneladas.

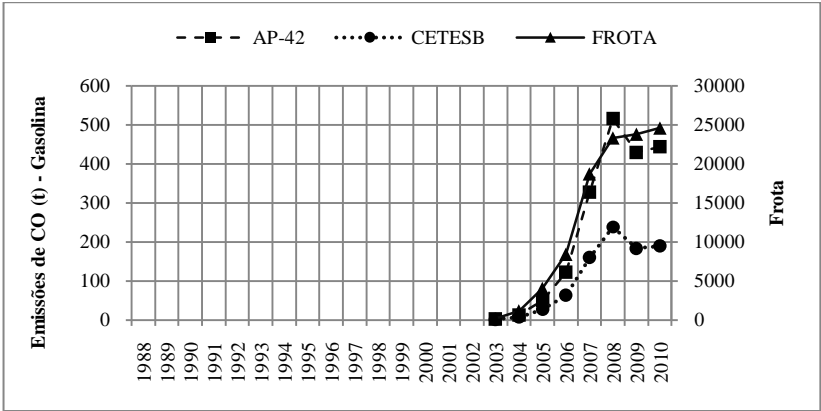


Figura 5.10 – Perfil de emissões de CO – veículos flex.

Fonte: Autor.

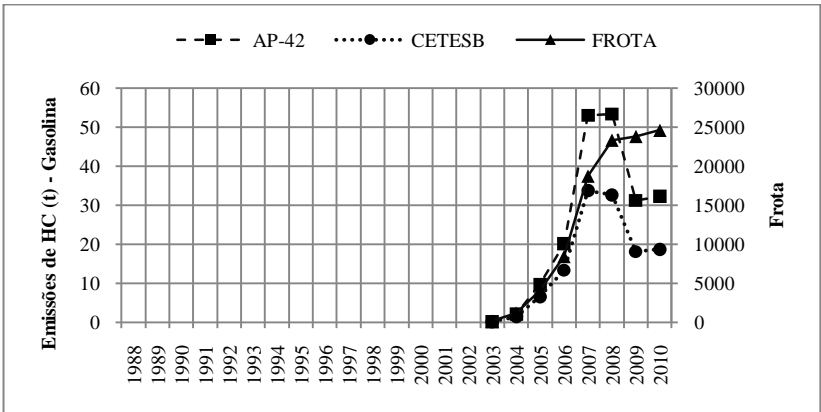


Figura 5.11 – Perfil de emissões de HC – veículos flex.

Fonte: Autor.

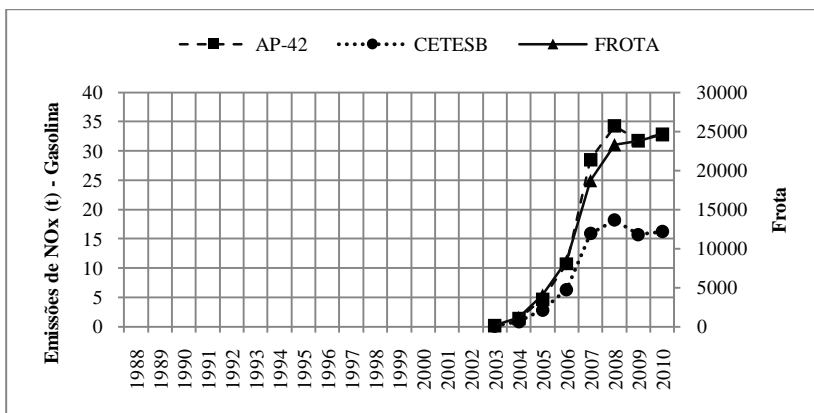


Figura 5.12 – Perfil de emissões de NOx – veículos flex.

Fonte: Autor.

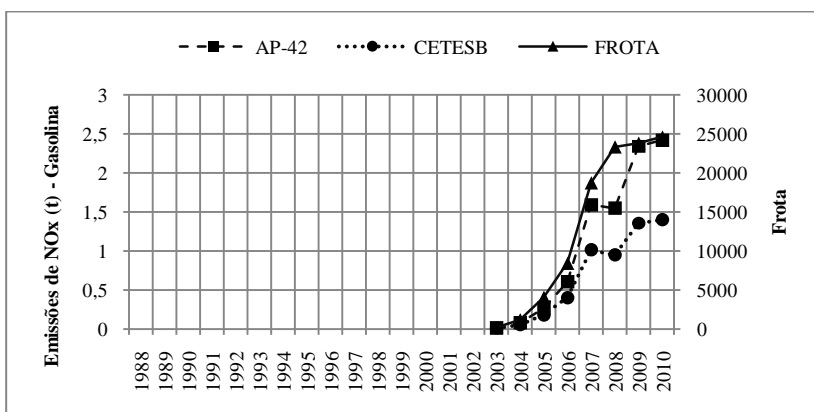


Figura 5.13 – Perfil de emissões de RCHO – veículos flex.

Fonte: Autor.

A respeito das emissões dos veículos flex, observa-se que as emissões calculadas através dos fatores de deterioração do AP-42 se aproximam da curva de crescimento da frota de veículos flex. As emissões utilizando os fatores de deterioração da CETESB acompanha as emissões do AP-42 até 2006 e desgarra a partir de 2007. Por exemplo, para CO, a diferença entre os fatores de 2003 a 2006 foi de 10,5 toneladas enquanto que a partir de 2007 a diferença foi de aproximadamente 66% das emissões.

A comparação entre os fatores de deterioração, como apresentadas nas Figuras 5.14 a 5.16, mostra que a maior diferença ocorre nos veículos mais novos.

Como visto, no cálculo das emissões foram utilizados simultaneamente fatores de deterioração baseados no AP-42 da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos e fatores adotados pela CETESB em seus inventários, que foram determinados para automóveis americanos com mais de 30 anos e sem dispositivos de controle de poluição.

Para Lima, Gimenes e Lima (2009) a deterioração dos veículos novos é mais acentuada pelos sistemas de redução das emissões, como o catalisador. Dispositivos de controle das emissões, como os catalisadores, sofrem desgastes de aproximadamente 10% de um ano para o outro. Isto faz com que o fator de deterioração dos automóveis novos seja maior, uma vez que para os veículos antigos o desgaste das peças tende a se estabilizar.

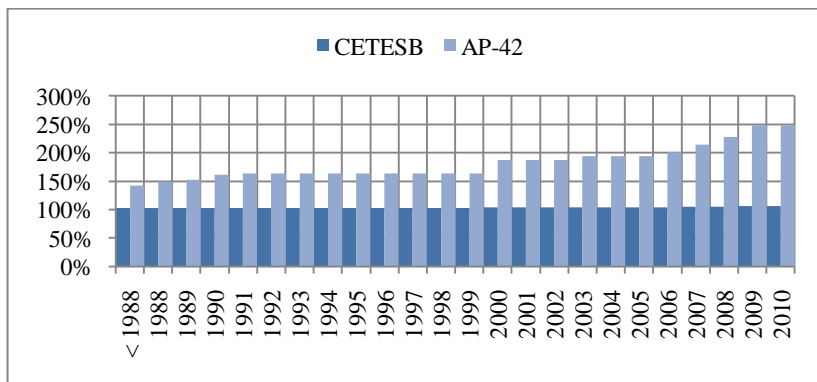


Figura 5.14 – Impacto dos fatores de deterioração – CO.

Fonte: Autor.

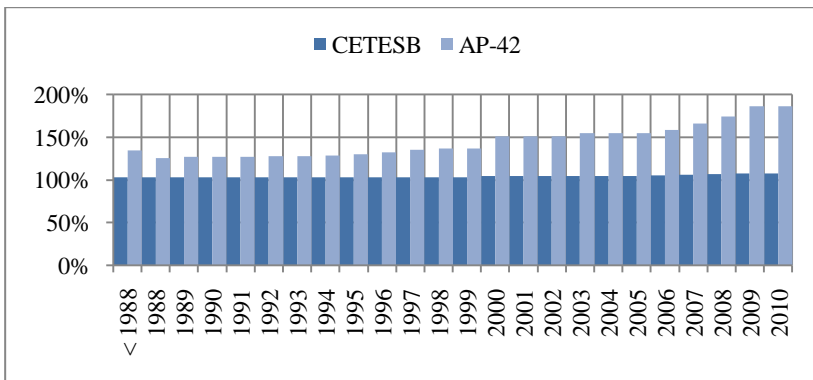


Figura 5.15 – Impacto dos fatores de deterioração – HC e RCHO.

Fonte: Autor.

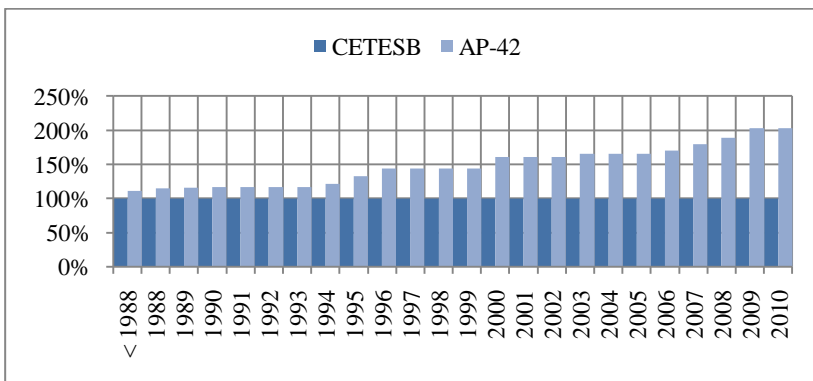


Figura 5.16 – Impacto dos fatores de deterioração – NOx.

Fonte: Autor.

Os gráficos anteriores demonstraram o quanto os fatores de deterioração têm impactos diferentes nos veículos mais novos. As Figuras 5.14 a 5.16 demonstraram comparação do impacto dos fatores de deterioração da CETESB e do AP-42 nos fatores de emissão para veículos novos de quatro poluentes (CO, HC, RCHO e NOx). Analisando os fatores de deterioração da CETESB, tem-se que um veículo de 1980 apresenta a mesma deterioração em relação aos fatores de emissão originais que um veículo de 1999, enquanto os fatores de deterioração do AP-42 têm impacto muito maior nos veículos mais novos. Especificamente, no caso do NOx, o impacto foi ainda mais significativo, já que o fator de deterioração da CETESB para este

poluente é igual a 1, pela consideração de que a deterioração do motor leva à diminuição nas emissões de NOx. Isto também é considerado pelo AP-42, mas somente nos veículos mais antigos. De forma geral, os fatores de deterioração do AP-42 causam impacto maior nos veículos mais novos, refletindo, assim, a deterioração dos sistemas de redução de emissões (LIMA; GIMENES; LIMA, 2009).

5.6 CONSEQUÊNCIAS DO PROGRAMA DE CONTROLE DO AR POR VEÍCULOS AUTOMOTORES SOBRE AS EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS EM SÃO LUÍS EM 2014.

Como visto no capítulo anterior, foram quantificadas as emissões de poluentes para o município de São Luís considerando, alternativamente, os fatores de deterioração baseados no AP-42 e os adotados pela CETESB no cálculo de seus inventários. Estes foram determinados para automóveis americanos e podem não representar com exatidão a deterioração dos veículos nacionais.

Corvalán e Vargas (2003) em um estudo recente, realizado em Santiago do Chile, mostram que os fatores de deterioração adotados pelos Estados Unidos (AP-42) ou pela União Européia (COPERT) são substancialmente inferiores aos verificados em uma amostra de mais de 2.000 veículos da frota em circulação na cidade.

Neste estudo, ainda que de uma forma conservadora, serão utilizados fatores de deterioração do AP-42 da EPA/USA para veículos de geração similar às fases correspondentes do PROCONVE.

Os resultados de emissão obtidos pelos fatores de deterioração do AP-42 foram agregados por fases do PROCONVE. Os dados da frota considerada foram agregados em seis grupos, referentes às cinco fases do PROCONVE e à fase anterior ao programa, como pode ser visto na Figura 6.17. O que se pode notar de imediato é a idade relativamente nova da frota, com mais de oitenta por cento (80%) dos veículos com ano de fabricação a partir de 2003 (ano de início da 4ª fase do PROCONVE), em grande parte representada por veículos flex. Esta grande quantidade de veículos pertencente a quarta e quinta fase do PROCONVE e, assim sendo, com melhor controle nas emissões, possibilita menor participação no total das emissões de poluentes.

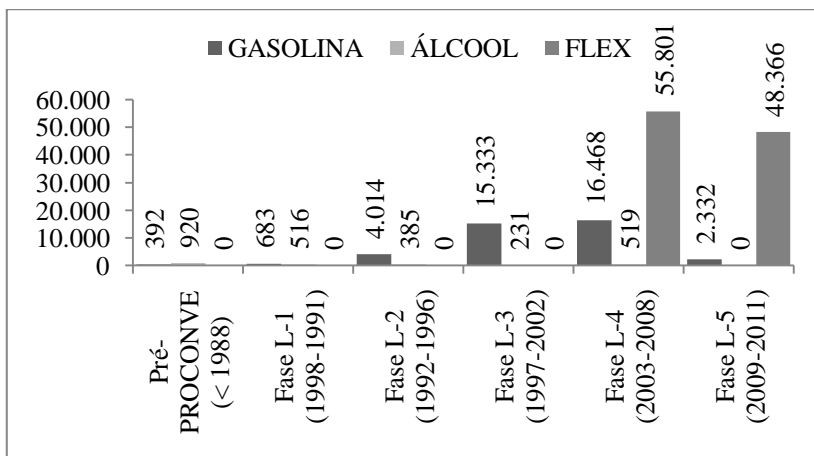


Figura 5.17 – Frota considerada desagregada por combustível e fases do PROCONVE.

Fonte: Autor.

A Tabela 6.15 apresenta um resumo dos resultados das emissões de 2010 para a frota considerada (gasolina, álcool e flex) agregados por fases do PROCONVE. Tem-se que a maior parte das emissões é proveniente dos veículos novos. Veículos em circulação fabricados a partir de 2003 representam 85% do total da frota considerada e respondem por mais da metade das emissões de poluentes. Estes veículos emitem 65% de CO, 67% de HC, 60% de NOx e 65% de RCHO. Já os veículos anteriores a 2003 representam 15% da frota total considerada e respondem por 35% das emissões de CO, 33% das emissões de HC, 40% das emissões de NOx e 35% das emissões de RCHO. Observa-se que até a terceira fase, os veículos possuíam emissões superiores a sua participação na frota. Proporcionalmente falando, é perceptível a evolução de dispositivos de controle de emissões por parte dos veículos. Por exemplo, os veículos Pré-PROCONVE representam 1% da frota e respondem por 12% do total das emissões de CO, enquanto que os veículos da quinta fase (2009-2011) representam 35% do total da frota e respondem por 28% das emissões.

Tabela 6.15 – Resumo dos resultados das emissões de 2010 - consolidado

Poluentes	Pré	PROCONVE					Total (t)
	PROCONVE						
	< 1988 1% ¹	L-1 1% ¹	L-2 3% ¹	L-3 11% ¹	L-4 50% ¹	L-5 35% ¹	
CO	12%	7%	10%	6%	37%	28%	3.287
HC	9%	6%	8%	9%	49%	18%	362
NOx	6%	6%	11%	17%	39%	22%	305
RCHO	12%	6%	9%	7%	34%	31%	16

FONTE: Autor.

NOTA: (1) Participação da frota considerada em cada fase.

Segue-se o resumo dos resultados das emissões só que agora desagregados por tipos de combustíveis e fases do PROCONVE.

A Tabela 6.16 apresenta um resumo das emissões totais para a frota movida à gasolina, desagregada por fases do PROCONVE. É possível constatar que 6% da frota a gasolina pertencem ao estágio tecnológico de controle de poluição mais avançado (fase L-5) e contribuem de forma menos significativa nas emissões de CO, HC, NOx e RCHO, levando em conta sua participação na frota considerada. Além disso, verifica-se que, da frota considerada possuir apenas 1% dos veículos na fase Pré-PROCONVE, foram observadas emissões significativas de poluentes, principalmente para CO e HC. Proporcionalmente esta fase foi a que mais contribuiu para as emissões atmosféricas. A maioria da frota se concentra em estágios intermediários de controle de poluição, fases que correspondem ao período compreendido em 1997 a 2008, que conta com uma participação de 81% da frota.

Tabela 6.16 – Resumo dos resultados das emissões de 2010 para frota a gasolina

Poluentes	Pré	PROCONVE					Total (t)
	PROCONVE						
	< 1988 1% ¹	L-1 2% ¹	L-2 10% ¹	L-3 39% ¹	L-4 42% ¹	L-5 6% ¹	
CO	17%	13%	30%	20%	17%	4%	1.045
HC	12%	9%	21%	27%	29%	3%	126
NOx	5%	8%	22%	37%	27%	2%	136
RCHO	5%	8%	28%	26%	29%	4%	4

FONTE: Autor.

NOTA: (1) Participação da frota a gasolina em cada fase.

Na Tabela 6.17, pode-se observar o comportamento nas emissões para veículos a álcool. Observa-se que a maioria dos veículos a álcool está na fase pré-PROCONVE, ou seja, fase que antecede o desenvolvimento de dispositivos de controle de emissões veiculares. Nesta fase são observadas as maiores participações nas emissões totais, muito em função da maior participação de veículos pertencentes a esta fase.

Como os veículos a álcool deixaram de ser comercializados no Brasil desde 2007, a última fase do PROCONVE, atualmente em vigor no país, não possui nenhum veículos a álcool, desta forma, não há contribuição alguma de poluentes nesta fase.

Tabela 6.17 – Resumo dos resultados das emissões de 2010 para frota a álcool

Poluentes	Pré	PROCONVE					Total (t)
	PROCONVE						
	< 1988 36% ¹	L-1 20% ¹	L-2 15% ¹	L-3 9% ¹	L-4 20% ¹	L-5 0% ¹	
CO	62%	27%	7%	1%	3%	0%	341
HC	55%	28%	9%	2%	5%	0%	34
NOx	54%	29%	11%	2%	4%	0%	24
RCHO	61%	24%	6%	2%	7%	0%	3

FONTE: Autor.

NOTA: (1) Participação da frota a álcool em cada fase.

Já o resumo das emissões para a frota movida a combustíveis flex (álcool e gasolina) pode ser observado na Tabela 6.18.

Os veículos com a tecnologia flex começaram a ser comercializados a partir de 2003, ou seja, durante a quarta fase do PROCONVE. Desta forma, não há participação da frota flex em fases anteriores a Fase L-4. A quarta fase, que durou de 2003 a 2008, conta com aproximadamente 54% do total da frota flex e é nesta fase que é verificada as maiores emissões. A quinta fase do PROCONVE (2009-2011), atualmente em vigor, apesar de possuir um horizonte temporal inferior a fase anterior, já corresponde por aproximadamente 46% do total da frota.

Tabela 6.18 – Resumo dos resultados das emissões de 2010 para frota a flex

Poluentes	Pré	PROCONVE					Total (t)
	PROCONVE						
	< 1988 0% ¹	L-1 0% ¹	L-2 0% ¹	L-3 0% ¹	L-4 54% ¹	L-5 46% ¹	
CO	0%	0%	0%	0%	54%	46%	1.901
HC	0%	0%	0%	0%	69%	31%	201
NOx	0%	0%	0%	0%	55%	45%	144
RCHO	0%	0%	0%	0%	46%	54%	9

FONTE: Autor.

NOTA: (1) Participação da frota flex em cada fase.

Ao comparar as emissões obtidas em cada fase com os limites máximos de emissões estabelecidos na legislação para veículos novos leves comercializados no país, conforme visto e apresentado no capítulo 3, conclui-se que este programa foi muito além das expectativas em termos de desenvolvimento tecnológico para controles de emissões a nível de veículos e combustíveis. Ao observar a Figura 6.18 é possível ver que o desenvolvimento tecnológico foi muito além do exigido – hoje as emissões estão aquém dos limites máximos estabelecidos em legislação. Em São Luís, para constatar, as emissões totais de CO, HC, NOx e RCHO representam respectivamente, 54%, 85%, 44% e 15% do limite máximo de emissões permitido pela frota em circulação.

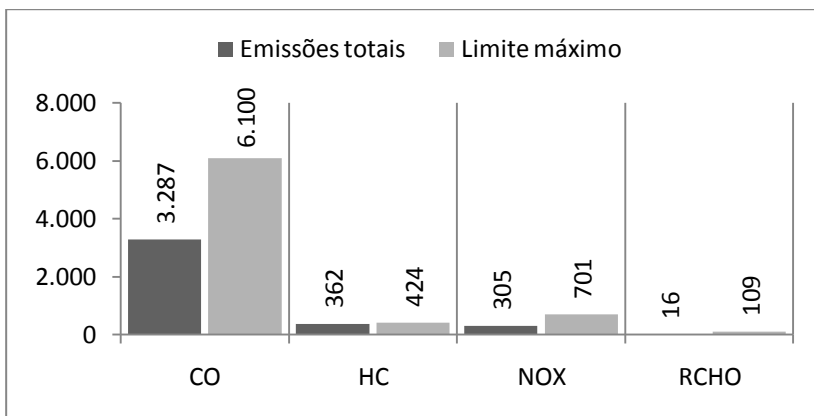


Figura 5.18 – Emissões totais x limites máximos.

Fonte: Autor.

Como visto na parte introdutória da dissertação, nos últimos anos, inúmeras medidas resultantes da inovação tecnológica a nível de veículos e combustíveis, tem reduzido bastante as emissões tóxicas provenientes dos automóveis. Um veículo hoje emite muito menos que os modelos mais antigos. A exemplo, um veículo da década de 80 possui um fator médio de emissão de CO de 34,25 g/km, enquanto que um modelo atual de 2010 possui um fator médio de emissão para o mesmo poluente de 0,3 g/km. Todavia, o crescimento da frota de veículos, bem como o aumento das distâncias percorridas pode compensar este avanço tecnológico, ou seja, ainda que os automóveis hoje poluam menos é possível que estejamos poluindo mais devido ao crescimento da frota e das distâncias percorridas.

Esta dissertação faz uma experiência e projeta a frota de São Luís para 2014 para comparar as emissões totais de poluentes de 2010 e de 2014 para concluir se houve ou não redução nas emissões totais para CO, HC, NOx e RCHO.

Para projetar a frota total por ano de fabricação para o ano 2014, adotou-se um cenário tendencial onde é assumido que as vendas de automóveis em São Luís terão um crescimento linear seguindo a mesma tendência das vendas anuais verificadas entre os anos de 2000 a 2010 no Anuário da Indústria Automobilística Brasileira. Os períodos anteriores não foram considerados por refletirem um período de consolidação da indústria automobilística brasileira que não pode servir como base para projeções futuras.

Aplicou-se a projeção da frota total por ano de fabricação uma curva de sucateamento, que permite estimar anualmente a quantidade de veículos de um determinado ano que saem de circulação. Neste estudo foram escolhidas as curvas de sucateamento para automóveis e comerciais leves utilizadas pelo Serviço de Planejamento da PETROBRAS, calibradas pelos dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios PNAD (1988) e de reconhecida consistência (MCT, 2003).

A função de sucateamento, que estabelece o percentual dos veículos sucateados em função da idade, limita a vida máxima do veículo a 40 anos e é uma função Gompertz⁸ com as seguintes características:

$$S(t) = \exp[-\exp(a + b(t))]$$
 (6.6)

Onde:

$S(t)$ = fração de veículos sucateada na idade t

(t) = idade do veículo

Apresentando os seguintes ajustes para a e b :

$a = 1,798$ (automóveis) e $1,618$ (comerciais leves)

$b = -0,137$ (automóveis) e $-0,141$ (comerciais leves)

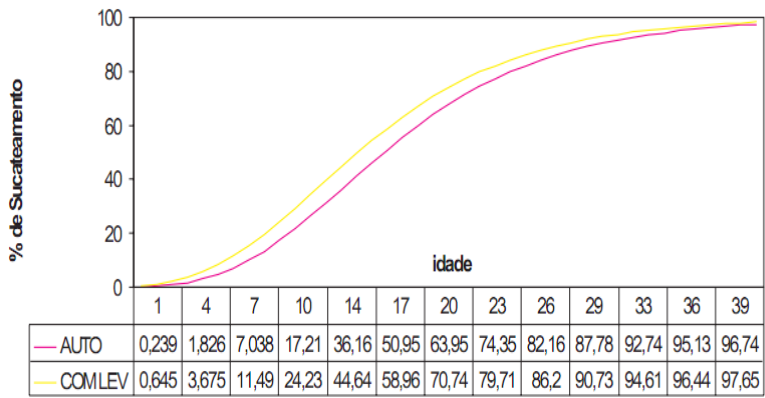


Figura 5.19 – Curvas de sucateamento para automóveis e comerciais leves.
Fonte: MCT (2003)

⁸ Modelo matemático relativo a séries temporais, onde o crescimento é menor no começo e no fim do período temporal.

A partir da curva de sucateamento é definida a taxa anual de sucateamento que varia segundo a idade do veículo:

$$txS_t \frac{1 S_t}{1S_t} 1 \quad (7.2)$$

A Tabela 6.19 apresenta a projeção da frota de veículos leves em circulação para a cidade de São Luís em 2014.

Tabela 6.19 – Projeção da quantidade de veículos leves em circulação por ano de fabricação e combustível para São Luís em 2014

Ano	Gasolina	Álcool	Flex	Ano	Gasolina	Álcool	Flex
<1988	32	76	0	2001	2.144	26	0
1988	5	39	0	2002	2.454	100	0
1989	17	27	0	2003	2.904	93	105
1990	50	8	0	2004	3.190	162	924
1991	70	19	0	2005	2.805	145	3.353
1992	72	28	0	2006	1.474	9	7.293
1993	126	42	0	2007	1.749	0	16.859
1994	266	32	0	2008	1.334	0	21.670
1995	397	9	0	2009	1.092	0	22.655
1996	549	3	0	2010	1.149	0	23.828
1997	772	1	0	2011	1.268	0	26.300
1998	966	1	0	2012	1.394	0	28.904
1999	1.016	10	0	2013	1.527	0	31.663
2000	1.657	13	0	2014	1.669	0	34.610

FONTE: Autor.

Para a quantificação das emissões de poluentes em 2014 para São Luís, foram considerados os fatores de deterioração do AP-42 e foram considerados que os fatores médios de emissões observados pela CETESB para os veículos leves novos em 2009 fossem os mesmo observados para os veículos de 2010 a 2014.

A Tabela 6.20 apresenta a estimativa das emissões de CO, HC, NOx e RCHO para a frota em circulação em São Luís para o ano e 2014.

Tabela 6.20 – Quantificação da emissão de poluentes em 2014 para São Luís (Fator de deterioração do AP-42)

Poluentes/Combustível	CO	HC	NO _x	RCHO
Gasolina	451	60	64	3
Álcool	50	6	4	0
Flex	1.094	126	86	6
Total	1.595	191	154	9

Fonte: Autor.

Se comparar com as emissões de poluentes quantificadas em 2010, conforme a Tabela 5.13, e a estimada para 2014, conforme a Tabela 6.20, pode-se verificar que houve redução nas emissões totais de CO, HC, NO_x e RCHO, ainda que a frota em circulação tenha aumentado em 72%, passando dos atuais 145.961 automóveis para 251.154 veículos. Esta redução se dá pela entrada de novos veículos que poluem menos e pela saída de circulação de veículos extremamente poluentes – sucateados. Com isto, houve uma redução de aproximadamente 48% nas emissões totais para estes poluentes se comparadas com 2010.

A redução foi de 51% para CO, 47% para HC, 50% para NO_x e 44% para RCHO. Desta forma tem-se que mesmo com o aumento na quantidade de veículos as emissões de poluentes veiculares está diminuindo devido as melhorias em nível de veículos e combustíveis.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 CONCLUSÕES

Este trabalho tratou da problemática das emissões de origem veicular. As emissões veiculares são resultados da queima da mistura combustível-ar em motores de combustão interna e da evaporação de combustíveis e outros compostos orgânicos voláteis no interior do veículo. Foram apresentados os processos de formação das emissões veiculares, os principais compostos emitidos pelos veículos e algumas medidas para o controle das emissões. Uma medida importante com o objetivo de reduzir e controlar a contaminação atmosférica por fontes móveis foi a instituição do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE). Este programa tem como principal meta a redução da contaminação atmosférica procedentes de veículos automotores através da fixação dos limites máximos de emissão para os veículos novos comercializados no país. Os resultados alcançados até então, mostram que a estratégia para implantação no Brasil de um programa de controle de emissão de poluentes por veículos automotores foi preparada acertadamente. Entre os principais resultados alcançados com o PROCONVE destaca-se a redução na fonte de até 97% da emissão de poluentes, a modernização do parque industrial automotivo brasileiro, a adoção e desenvolvimento de novas tecnologias e a melhoria da qualidade dos combustíveis automotivos.

Neste trabalho, foram apresentadas metodologias básicas para o cálculo das emissões originadas por veículos leves (automóveis). A partir da frota cadastrada da cidade de São Luís, foram estimadas as emissões de CO, HC, NOx e RCHO, por meio da metodologia da CETESB para o ano de 2010. Esta estimativa foi ampliada pela comparação entre os fatores de deterioração adotados pela CETESB e os fatores de deterioração do AP-42 da EPA americana.

Em relação aos fatores de deterioração, os fatores de CETESB foram determinados para veículos americanos de fins da década de 1960, e o uso dos fatores de deterioração do AP-42 neste trabalho permitiu aproximar melhor a deterioração dos veículos, principalmente para os mais recentes, que incorporam equipamentos de controle de emissão de poluentes.

Ademais foi realizada uma estimativa das emissões veiculares para São Luís para o ano de 2014, de modo que foi possível comparar com as emissões quantificadas para 2010.

Diante deste fato, pode-se constatar a eficiência das tecnologias de controle das emissões, principalmente no caso de São Luís, que possui uma frota recente, ficando evidente que, mesmo com um aumento de 72% na frota veicular houve uma diminuição média de 48% nas emissões dos poluentes analisados.

Esta eficiência verificada nas tecnologias de controle das emissões se deve muito a iniciativa do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA de instituir no país o Programa Nacional de Controle das Emissões Veiculares (PROCONVE), para redução gradual da emissão de poluentes para veículos leves e para veículos pesados. Ao estabelecer limites máximos de emissões para os poluentes veiculares em lei, o PROCONVE fez com que fabricantes e importadores passassem a investir no desenvolvimento de tecnologias de objetivassem a redução das emissões. Deste então, o PROCONVE tem se mostrado eficiente, pois, como visto, as emissões médias dos veículos leves novos estão bem aquém dos limites máximos estabelecidos em lei, e isto é ótimo para a qualidade do ar no Brasil.

Repreende-se que o PROCONVE tem contribuído, de forma significativa, até o momento, para a redução das emissões de poluentes de origem veicular (fonte móveis) e para a melhoria da qualidade do ar em São Luís, por determinar padrões de emissão que estimularam a indústria automobilística a adequar a tecnologia veicular a esses novos padrões.

6.2 RECOMENDAÇÕES

Como recomendações para trabalhos futuros sublinham-se que, o cálculo das emissões apresenta diversas ressalvas, sendo necessário adaptar a metodologia ao local em que se deseja quantificar as emissões. Este trabalho específico considerou apenas as emissões provenientes de veículos leves (automóveis), porém, este método pode ser muito bem aplicado para outros veículos, como motos, ônibus e caminhões.

A metodologia apresentada para cálculos e estimativas das emissões veiculares pode ser adaptada de forma a considerar variáveis importantes dentro do processo de emissões veiculares, tais como:

velocidade, acelerações, temperaturas, uso do ar condicionado etc. – variáveis neste trabalho desprezadas.

Este trabalho se concentrou nas emissões decorrentes do processo de combustão, por terem maiores conseqüências. Destaca-se que as emissões evaporativas também podem ser calculadas utilizando a metodologia apresentada.

Os principais modelos utilizados para cálculos das emissões (MOVES, IVE e COPERT) também podem ser utilizados na quantificação das emissões veiculares para determinada área geográfica de estudo.

REFERÊNCIAS

- AGRAWAL, S. K. **Internal combustion engines**. New Delhi: New Age International, 2006. 548 p.
- AHN K. **Microscopic fuel consumption and emission modeling**. 1998. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, 1998.
- AHN K. **Modeling light vehicle emissions based on instantaneous speed and acceleration levels**. 2002. 177 f. Tese (Doutorado) - Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, 2002.
- ANDRE, M et al. Driving cycles for emission measurements under european conditions. SAE Technical Papers Series. **Anais...** n. 950926, p. 193-205, 1995.
- ARAÚJO, D. R. C.. **Comparação das simulações de tráfego dos modelos SATURN e DRACULA**. 2003. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, UFRGS, Porto Alegre, 2003.
- ARIOTTI, P. **Método para aprimorar a estimativa de emissões veiculares em áreas urbanas através de modelagem híbrida em redes**. 2010. 172 f. Análise Comparativa de Simuladores de Tráfego Para Estimativa de Co em Áreas Urbanas (Doutorado) - UFRGS, Porto Alegre, 2010.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES (ANFAVEA). **Anuário da indústria automobilística brasileira**. São Paulo, 2010. 188 p. [autos.pdf](#)>. Acesso em: 13 out. 2010.
- BACHMAN, W. H. **Towards a GIS-Based Modal Model of Automobile Exhaust Emissions**. 1997. 293 f. Tese (Doutorado) - Georgia Institute Of Technology, Georgia, 1997.
- BALDASANO, J. M.; POWER, H. **Air pollution emissions inventory**. WIT Press: New York, 1998.

BELLASIO, R. et al. Emission inventory for the road transport sector in Sardinia (Italy). **Atmospheric Environment**, Italy, v. 41, p.677-691, 01 fev. 2007.

BLUETT, J.; DEY, K.; FISHER, G. **Assessing vehicle air pollution emissions**. New Zealand: National Institute Of Water & Atmospheric Research Ltd, 2008.

BOULTER, P. G. et al. On-board emission measurements in central London. **TRL REPORT UPR/IE/034/06**, 2006.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA nº 15**, de 13 de dezembro de 1995. - In: Resoluções, 1995. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res95/res1595.html>>. Acesso em: 12. dez. 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA nº 18**, de 6 de maio de 1986. - In: Resoluções, 1986. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res1886.html>>. Acesso em: 12. dez. 2010.

CARAGEORGOS, T. **Poluição do ar**. Disponível em: <<http://www.lenep.uenf.br/~themis/disciplinas/ambiental/Poluicaodoar.doc>>. Acesso em: 10 out. 2010.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Inventário de emissão veicular**: metodologia de cálculo. São Paulo, 1999. 199 p. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/qualidade-do-ar/31-publicacoes-e-relatorios>>. Acesso em: 01 jan. 2011.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Qualidade do ar no estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2009. 292 p. (Série Relatórios). Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/publicacoes.asp>>. Acesso em: 11 jan. 2011.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Secretaria de Estado do Meio Ambiente. **Poluentes**. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar_saude.asp>. Acesso em: 01 jan. 2010.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Secretaria de Estado do Meio Ambiente. **Emissões veiculares**. 1997. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/emissoes/proconve.asp>>. Acesso em: 13 out. 2010.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Automobile emissions**: an overview. EPA 400-F-92-007. 1994. Disponível em <<http://www.epa.gov/otaq/consumer/05-autos.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2010

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Highway mobile source emission factors tables**. Europa: EPA, 1995. 58 p. (AP-42). Disponível em: <www.epa.gov/oms/models/ap42/ap42-h1.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2010.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Health environmental, and climate impacts**. Air Pollution. 2010. Disponível em: <<http://www.epa.gov/airtrends/2010/report/airpollution.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2010a.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Motor Vehicle Emission Simulator (MOVES)**: User Guide for MOVES2010a. 2010a. Disponível em: <<http://www.epa.gov/otaq/models/moves/MOVES2010a/420b10036.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2010b.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Policy Guidance on the Use of MOVES2010 for State Implementation Plan Development, Transportation Conformity, and Other Purposes**. 2010. Disponível em: <<http://www.epa.gov/otaq/models/moves/420b09046.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2010c.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **User's Guide to MOBILE6.1 and MOBILE6.2**: Mobile Source Emission Factor Model. 2003. Disponível em: <<http://www.epa.gov/oms/models/mobile6/420r03010.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2010.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA). **EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook**. Europa: EEA, 2009. Disponível em: <<http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009>>. Acesso em: 19 jun. 2010.

FAIZ, A.; WEAVER, C. S.; WALSH, E. M. P. **Air pollution from motor vehicles: standards and technologies for controlling emissions**. Washington D.C.: The World Bank, 1996.

FEDERAÇÃO NACIONAL DA DISTRIBUIÇÃO DE VEÍCULOS AUTOMOTORES (FENABRAVE). **Anuário da distribuição de veículos automotores no Brasil**. São Paulo, 2009. 67 p.

FREY, H.C.; UNAL, A. **Use of On-Board Tailpipe Emissions Measurements for Development of Mobile Source Emission Factors**. International Emission Inventory Conference "Emission Inventories - Partnering for the Future". Atlanta, GA. 2002.

GKATZOFLIAS, D. et al. **COPERT 4**: Computer programme to calculate emissions from road transport. 2007, European Environment Agency. Disponível em: <<http://lat.eng.auth.gr/copert/files/Manual4v5.zip>>. Acesso em: 01 nov. 2010.

GOMES, P. et al. **Caracterização e monitorização da qualidade do ar na zona de implantação do novo aeroporto internacional de lisboa**. Lisboa: IPAC, 2005. 121 p. (Relatório Final). REL/83A-2006/02/16.

HEALTH EFFECTS INSTITUTE (HEI). **Traffic-related air pollution: a critical review of the literature on emissions, exposure, and health effects**. 17. ed. Boston: Health Effects Institute, 2010. 386 p.

HENINGER, B. T.; SHAH, F. A. Control of stationary and mobile source air pollution: reducing emissions of hydrocarbons for ozone abatement in Connecticut. **Land economics**, Wisconsin, v. 74, n. 4, p.497-513, 01 nov. 1998.

IMASATO, T. et al. **Análise comparativa de simuladores de tráfego para estimativa de co em áreas urbanas**. Disponível em: <http://redpgv.coppe.ufrj.br/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=388&Itemid=64&lang=br>. Acesso em: 26 jul. 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA (INE). **Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades mexicanas**. México: Impresora Y Encuadernadora Progreso, 2009. 112 p. Instituto

Nacional de Ecología. Disponível em: <<http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/download/618.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA - SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (INE-SEMARNAT). **Guía de elaboración y usos de inventarios de emisiones**. México: Instituto Nacional de Ecología, 1985. 506 p. Disponível em: <<http://www.ine.gob.mx/publicaciones/new.consultaListaPub.php>>. Acesso em: 01 jan. 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Indicadores de desenvolvimento sustentável**: Brasil 2010. Brasil: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. 443 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Programa de controle da poluição do ar por veículos automotores: PROCONVE/PROMOT**. 2. ed. Brasília: IBAMA, 2004. 187 p. (Série Diretrizes Gestão Ambiental). Coleção Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/qualidade-ambiental/download/117/>>. Acesso em: 20 jan. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Programas de controle de emissões veiculares**. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/qualidade-ambiental/proconve/>>. Acesso em: 21 dez. 2010.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (INEA). **PROCONVE/PROMOT**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/fma/proconve-promot.asp>>. Acesso em: 21 jan. 2011.

INTERNATIONAL SUSTAINABLE SYSTEMS RESEARCH CENTER (ISSRC). **Manual del Usuario del Modelo IVE Versión 2.0**. 2008. Disponível em: <<http://www.issrc.org/ive/downloads/manuals/UsersManual%28sp%29.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2010.

JACONDINO, G. B. **Quantificação das emissões veiculares através do uso de simuladores de tráfego**. 2005. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

JOUMARD, R.; SÉRIÉ, E., Modelling of cold start emissions for passenger cars. **MEET Project. INRETS Report LTE 9931**, 1999.

LIMA, E.; GIMENES, M.; LIMA, O. Estimacão das emissões originadas de veículos leves na cidade de Maringá para o ano de 2005. **Acta Scientiarum. Technology**, Brasil, v. 31, n. 1, p.43-50, 01 abr. 2009.

LOPES, J. L. Riscos para a saúde de trabalhadores de pavimentação com asfalto. **Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente**, São Paulo, v. 3, n. 3, p.1-10, 01 ago. 2008. Seção Interfacehs 1. Disponível em: <<http://www.interfacehs.sp.senac.br>>. Acesso em: 10 dez. 2010.

MATTOS, L. B. R. **A importância do setor de transportes na emissão de gases do efeito estufa - o caso do município do Rio de Janeiro**. 2001. 222 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (MCT). **Emissões de gases de efeito estufa por fontes móveis, no setor energético**. Brasília: MCT, 2006. 95 p. (Relatórios de referência). Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC) **Modeling mobile-source emissions**. Washington D.C.: National Research Council, 2000.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). **Expanding metropolitan highways: implications for air quality and energy use**. Washington: National Academy Press, 1995.

NAZELLE, A. et al. Short trips: An opportunity for reducing mobile-source emissions?. **Transportation research part D: Transport and environment**, New York, v. 18, n. 8, p.451-457, 01 dez. 2010.

NIZICH, S. V.; MCMULLEN, T. C.; MISENHEIMER, D. C. National air pollutant emissions trends: 1900-1993. **Research triangle park: Office of air quality planning and standards**, United States, p.1-314, 01 out. 1994.

NTZIACHRISTOS, L. et al. COPERT: A European Road Transport Emission Inventory Model. **Information Technologies In Environmental Engineering**, Greece, n. , p.491-504, 01 jan. 2009.

PINTO, M. **Incentivos fiscais podem alavancar uso e produção de veículos elétricos no Brasil**. Disponível em: <http://noticias.ambientebrasil.com.br/?p=33845&upm_export=pdf>. Acesso em: 26 jul. 2010.

PORTUGAL, L. S. **Simulação de tráfego**: conceitos e técnicas de modelagem. Rio de Janeiro: Interciência, 2005.

POYARES, C. N. **Critérios para Análise dos Efeitos de Políticas de Restrição ao Uso de Automóveis em Áreas Centrais**. 2000. 250 f. Dissertação (Mestrado) - UFRJ, Rio de Janeiro, 2000.

RAMOS, P.; RAMOS, M. M. **Os caminhos metodológicos da pesquisa**: da educação básica ao doutorado. Blumenau: Odorizzi, 2005.

RIVEROS, H. G.; CABRERA, E.; MARTÍNEZ, J. **Emisiones vehiculares**. Disponível em: <http://www.fisica.unam.mx/personales/hgriveros/docu/Emisiones_vehiculares.295183343.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2011.

ROCHA, L. A. B. da. **Efeito estufa – aquecimento global**. Disponível em: <<http://outorga.com.br/pdf/Artigo%20171%20-%20Aquecimento%20global%20I.pdf>>. Acesso em: 13 dez. 2010.

ROUANET, P. S. **As razões do iluminismo**. São Paulo: Companhia das Letras, 1987. 350 p.

ROUPHAIL et al. Vehicle emissions and traffic measures: exploratory analysis of field observations at signalized arterials. 80th Annual Meeting of the Transportation Research Board. **Anais...** Washington D.C., 2000.

SALIBY, E. **Repensando a simulação**: uma amostragem descritiva. Rio de Janeiro: Atlas, 1989.

SAUNDERS, M.; LEWIS, P.; THORNHILL, A. **Research methods for business students**. 3. ed. Harlow: Prentice Hall, 2003.

STURM, P. J. et al. Application of Computational Methods for the Determination of Traffic Emissions. **Journal Of Air & Waste Management Association**, Pittsburgh, n. 47, p.1204-1210, 01 nov. 1997.

TAYLOR, C. F. **The internal combustion engine in theory and practice**. Massachusetts: The Mit Press, 1985. 584 p.

VLIEGER, I.; KEUKELEERE, D.; KRETZSCHMAR, J. G. Environmental Effects of Driving Behaviour and Congestion Related to Passenger Cars. **Atmospheric Environment**, Boston, v. 34, n. 27, p.4649-4655, 12 jan. 2000.

ZANNIN, P. H. T. **Engenharia ambiental**. Disponível em: <<ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM124/ZA-APOSTILA-ENG-AMBdefinitiva.pdf>>. Acesso em: 13 dez. 2010.

WENZEL, T.; SINGER, B. C.; SLOTT, R. Some issues in the statistical analysis of vehicle emissions. **Journal of transportation and statistics**. v. 3, p. 1-14, 2000.

WESTERN GOVERNORS ASSOCIATION (WGA). **Manuales del programa de inventarios de emisiones de mexico**. Sacramento: WGA, 1997. 126 p. (Desarrollo de inventarios de emisiones de vehiculos automotores). Disponível em: <www.epa.gov/ttn/catc/dir1/vehicul6.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2011.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD). **Mobility 2001**: world mobility at the end of the twentieth century and its sustainability. EUA, 2001. Disponível em <www.wbcd.org>. Acesso em: 22 jul 2003.

YU, L. Remote vehicle exhaust emission sensing for traffic simulation and optimization models. **Transportation Research Part D**, v. 3, p. 337-347, 1998.

Ano de fabricação	Quantidade de veículos por combustível			Quilometragem média percorrida (ano)	Fatores médios de emissão	Fator de deterioração	Total das Emissões
	Gasolina	Álcool	Flex				
< 1988	392	920	0	9.500	34,25	1,42	180.889.839
1988	32	245	0	9.500	18,5	1,49	8.424.419
1989	95	149	0	9.500	15,2	1,53	20.973.607
1990	250	38	0	9.500	13,3	1,61	50.967.607
1991	306	84	0	9.500	11,5	1,63	54.487.069
1992	282	108	0	9.500	6,2	1,64	27.248.932
1993	438	147	0	9.500	6,3	1,64	42.984.676
1994	823	98	0	9.500	6	1,64	76.999.609
1995	1.102	26	0	9.500	4,7	1,64	80.733.989
1996	1.369	7	0	9.500	3,8	1,64	81.092.372
1997	1.736	2	0	9.500	1,2	1,64	32.475.167
1998	1.970	2	0	9.500	0,79	1,64	24.257.966
1999	1.886	19	0	9.500	0,74	1,64	21.752.881
2000	2.818	23	0	13.000	0,73	1,88	50.194.653
2001	3.359	41	0	13.000	0,48	1,88	39.339.496
2002	3.563	145	0	13.000	0,43	1,88	37.383.784
2003	3.937	126	143	14.000	0,4	1,94	42.862.190
2004	4.066	207	1.177	14.000	0,35	1,94	38.739.347
2005	3.388	175	4.051	14.000	0,34	1,94	31.356.028
2006	1.700	10	8.411	15.000	0,33	2,01	16.932.925
2007	1.941	0	18.708	17.000	0,33	2,15	23.373.659
2008	1.435	0	23.311	19.000	0,37	2,28	23.019.336
2009	1.147	0	23.789	22.000	0,3	2,48	18.803.363
2010	1.185	0	24.577	22.000	0,3	2,48	19.426.220
						TOTAL (t)	1.045

Cálculo das emissões totais de HC para veículos a gasolina utilizando os fatores de deterioração do AP-42

Ano de fabricação	Quantidade de veículos por combustível			Quilometragem média percorrida (ano)	Fatores médios de emissão	Fator de deterioração	Total das Emissões
	Gasolina	Álcool	Flex				
< 1988	392	920	0	9.500	3,025	1,35	15.160.133
1988	32	245	0	9.500	1,7	1,26	653.208
1989	95	149	0	9.500	1,6	1,27	1.835.231
1990	250	38	0	9.500	1,4	1,27	4.235.907
1991	306	84	0	9.500	1,3	1,27	4.806.978
1992	282	108	0	9.500	0,6	1,28	2.051.834
1993	438	147	0	9.500	0,6	1,28	3.185.353
1994	823	98	0	9.500	0,6	1,28	6.028.793
1995	1.102	26	0	9.500	0,6	1,30	8.151.407
1996	1.369	7	0	9.500	0,4	1,33	6.897.235
1997	1.736	2	0	9.500	0,2	1,35	4.468.041
1998	1.970	2	0	9.500	0,14	1,37	3.594.145
1999	1.886	19	0	9.500	0,14	1,37	3.440.752
2000	2.818	23	0	13.000	0,13	1,51	7.185.736
2001	3.359	41	0	13.000	0,11	1,51	7.247.255
2002	3.563	145	0	13.000	0,11	1,51	7.687.777
2003	3.937	126	143	14.000	0,11	1,55	9.384.000
2004	4.066	207	1.177	14.000	0,11	1,55	9.692.993
2005	3.388	175	4.051	14.000	0,1	1,55	7.342.147
2006	1.700	10	8.411	15.000	0,08	1,59	3.238.336
2007	1.941	0	18.708	17.000	0,08	1,67	4.395.788
2008	1.435	0	23.311	19.000	0,042	1,74	1.996.882
2009	1.147	0	23.789	22.000	0,034	1,86	1.596.622
2010	1.185	0	24.577	22.000	0,034	1,86	1.649.510
						TOTAL (t)	126

Cálculo das emissões totais de NOx para veículos a gasolina utilizando os fatores de deterioração do AP-42

Ano de fabricação	Quantidade de veículos por combustível			Quilometragem média percorrida (ano)	Fatores médios de emissão	Fator de deterioração	Total das Emissões
	Gasolina	Álcool	Flex				
< 1988	392	920	0	9.500	1,525	1,11	6.323.877
1988	32	245	0	9.500	1,8	1,15	632.672
1989	95	149	0	9.500	1,6	1,16	1.676.409
1990	250	38	0	9.500	1,4	1,17	3.882.979
1991	306	84	0	9.500	1,3	1,17	4.408.740
1992	282	108	0	9.500	0,6	1,17	1.878.599
1993	438	147	0	9.500	0,8	1,17	3.888.555
1994	823	98	0	9.500	0,7	1,22	6.658.055
1995	1.102	26	0	9.500	0,6	1,33	8.345.526
1996	1.369	7	0	9.500	0,5	1,44	9.384.145
1997	1.736	2	0	9.500	0,3	1,44	7.140.353
1998	1.970	2	0	9.500	0,23	1,44	6.211.313
1999	1.886	19	0	9.500	0,23	1,44	5.946.223
2000	2.818	23	0	13.000	0,21	1,61	12.357.759
2001	3.359	41	0	13.000	0,14	1,61	9.819.772
2002	3.563	145	0	13.000	0,12	1,61	8.928.569
2003	3.937	126	143	14.000	0,12	1,65	10.931.432
2004	4.066	207	1.177	14.000	0,09	1,65	8.468.534
2005	3.388	175	4.051	14.000	0,09	1,65	7.056.122
2006	1.700	10	8.411	15.000	0,08	1,70	3.467.865
2007	1.941	0	18.708	17.000	0,08	1,79	4.732.303
2008	1.435	0	23.311	19.000	0,039	1,89	2.005.777
2009	1.147	0	23.789	22.000	0,02	2,03	1.022.452
2010	1.185	0	24.577	22.000	0,02	2,03	1.056.321
						TOTAL (t)	136

Cálculo das emissões totais de RCHO para veículos a gasolina utilizando os fatores de deterioração do AP-42

Ano de fabricação	Quantidade de veículos por combustível			Quilometragem média percorrida (ano)	Fatores médios de emissão	Fator de deterioração	Total das Emissões
	Gasolina	Álcool	Flex				
< 1988	392	920	0	9.500	0,0475	1,35	238.052
1988	32	245	0	9.500	0,04	1,26	15.370
1989	95	149	0	9.500	0,04	1,27	45.881
1990	250	38	0	9.500	0,04	1,27	121.026
1991	306	84	0	9.500	0,04	1,27	147.907
1992	282	108	0	9.500	0,013	1,28	44.456
1993	438	147	0	9.500	0,022	1,28	116.796
1994	823	98	0	9.500	0,036	1,28	361.728
1995	1.102	26	0	9.500	0,025	1,30	339.642
1996	1.369	7	0	9.500	0,019	1,33	327.619
1997	1.736	2	0	9.500	0,007	1,35	156.381
1998	1.970	2	0	9.500	0,004	1,37	102.690
1999	1.886	19	0	9.500	0,004	1,37	98.307
2000	2.818	23	0	13.000	0,004	1,51	221.100
2001	3.359	41	0	13.000	0,004	1,51	263.537
2002	3.563	145	0	13.000	0,004	1,51	279.556
2003	3.937	126	143	14.000	0,004	1,55	341.236
2004	4.066	207	1.177	14.000	0,004	1,55	352.472
2005	3.388	175	4.051	14.000	0,004	1,55	293.686
2006	1.700	10	8.411	15.000	0,002	1,59	80.958
2007	1.941	0	18.708	17.000	0,002	1,67	109.895
2008	1.435	0	23.311	19.000	0,0014	1,74	66.563
2009	1.147	0	23.789	22.000	0,0017	1,86	79.831
2010	1.185	0	24.577	22.000	0,0017	1,86	82.475
						TOTAL (t)	4

Cálculo das emissões totais de CO para veículos a álcool utilizando os fatores de deterioração do AP-42

Ano de fabricação	Quantidade de veículos por combustível			Quilometragem média percorrida (ano)	Fatores médios de emissão	Fator de deterioração	Total das Emissões
	Gasolina	Álcool	Flex				
< 1988	392	920	0	9.500	16,96666667	1,42	210.211.267
1988	32	245	0	9.500	13,3	1,49	46.154.510
1989	95	149	0	9.500	12,8	1,53	27.625.156
1990	250	38	0	9.500	10,8	1,61	6.293.910
1991	306	84	0	9.500	8,4	1,63	10.965.100
1992	282	108	0	9.500	3,6	1,64	6.039.919
1993	438	147	0	9.500	4,2	1,64	9.628.874
1994	823	98	0	9.500	4,6	1,64	7.007.281
1995	1.102	26	0	9.500	4,6	1,64	1.860.157
1996	1.369	7	0	9.500	3,9	1,64	418.223
1997	1.736	2	0	9.500	0,9	1,64	24.381
1998	1.970	2	0	9.500	0,67	1,64	20.594
1999	1.886	19	0	9.500	0,6	1,64	178.156
2000	2.818	23	0	13.000	0,63	1,88	349.344
2001	3.359	41	0	13.000	0,66	1,88	656.986
2002	3.563	145	0	13.000	0,74	1,88	2.610.885
2003	3.937	126	143	14.000	0,77	1,94	2.644.542
2004	4.066	207	1.177	14.000	0,82	1,94	4.623.202
2005	3.388	175	4.051	14.000	0,82	1,94	3.908.623
2006	1.700	10	8.411	15.000	0,67	2,01	204.637
2007	1.941	0	18.708	17.000	0	2,15	0
2008	1.435	0	23.311	19.000	0	2,28	0
2009	1.147	0	23.789	22.000	0	2,48	0
2010	1.185	0	24.577	22.000	0	2,48	0
TOTAL (t)							341

Cálculo das emissões totais de HC para veículos a álcool utilizando os fatores de deterioração do AP-42

Ano de fabricação	Quantidade de veículos por combustível			Quilometragem média percorrida (ano)	Fatores médios de emissão	Fator de deterioração	Total das Emissões
	Gasolina	Álcool	Flex				
< 1988	392	920	0	9.500	1,6	1,35	18.810.636
1988	32	245	0	9.500	1,7	1,26	4.977.895
1989	95	149	0	9.500	1,6	1,27	2.870.489
1990	250	38	0	9.500	1,3	1,27	598.158
1991	306	84	0	9.500	1,1	1,27	1.120.622
1992	282	108	0	9.500	0,6	1,28	783.273
1993	438	147	0	9.500	0,7	1,28	1.248.698
1994	823	98	0	9.500	0,7	1,28	834.894
1995	1.102	26	0	9.500	0,7	1,30	223.879
1996	1.369	7	0	9.500	0,6	1,33	51.989
1997	1.736	2	0	9.500	0,3	1,35	6.709
1998	1.970	2	0	9.500	0,19	1,37	4.883
1999	1.886	19	0	9.500	0,17	1,37	42.203
2000	2.818	23	0	13.000	0,18	1,51	80.238
2001	3.359	41	0	13.000	0,15	1,51	120.032
2002	3.563	145	0	13.000	0,16	1,51	453.805
2003	3.937	126	143	14.000	0,16	1,55	437.483
2004	4.066	207	1.177	14.000	0,17	1,55	763.060
2005	3.388	175	4.051	14.000	0,17	1,55	645.119
2006	1.700	10	8.411	15.000	0,12	1,59	28.914
2007	1.941	0	18.708	17.000	0	1,67	0
2008	1.435	0	23.311	19.000	0	1,74	0
2009	1.147	0	23.789	22.000	0	1,86	0
2010	1.185	0	24.577	22.000	0	1,86	0
TOTAL (t)							34

Ano de fabricação	Quantidade de veículos por combustível			Quilometragem média percorrida (ano)	Fatores médios de emissão	Fator de deterioração	Total das Emissões
	Gasolina	Álcool	Flex				
< 1988	392	920	0	9.500	1,333333333	1,11	12.970.543
1988	32	245	0	9.500	1,4	1,15	3.749.976
1989	95	149	0	9.500	1,1	1,16	1.802.677
1990	250	38	0	9.500	1,2	1,17	506.142
1991	306	84	0	9.500	1	1,17	934.348
1992	282	108	0	9.500	0,5	1,17	597.618
1993	438	147	0	9.500	0,6	1,17	979.947
1994	823	98	0	9.500	0,7	1,22	790.318
1995	1.102	26	0	9.500	0,7	1,33	229.210
1996	1.369	7	0	9.500	0,7	1,44	66.019
1997	1.736	2	0	9.500	0,3	1,44	7.148
1998	1.970	2	0	9.500	0,24	1,44	6.488
1999	1.886	19	0	9.500	0,22	1,44	57.451
2000	2.818	23	0	13.000	0,21	1,61	99.659
2001	3.359	41	0	13.000	0,08	1,61	68.153
2002	3.563	145	0	13.000	0,08	1,61	241.564
2003	3.937	126	143	14.000	0,09	1,65	262.775
2004	4.066	207	1.177	14.000	0,08	1,65	383.443
2005	3.388	175	4.051	14.000	0,08	1,65	324.176
2006	1.700	10	8.411	15.000	0,05	1,70	12.901
2007	1.941	0	18.708	17.000	0	1,79	0
2008	1.435	0	23.311	19.000	0	1,89	0
2009	1.147	0	23.789	22.000	0	2,03	0
2010	1.185	0	24.577	22.000	0	2,03	0
						TOTAL (t)	24

Cálculo das emissões totais de RCHO para veículos a álcool utilizando os fatores de deterioração do AP-42

Ano de fabricação	Quantidade de veículos por combustível			Quilometragem média percorrida (ano)	Fatores médios de emissão	Fator de deterioração	Total das Emissões
	Gasolina	Álcool	Flex				
< 1988	392	920	0	9.500	0,15	1,35	1.763.497
1988	32	245	0	9.500	0,11	1,26	322.099
1989	95	149	0	9.500	0,11	1,27	197.346
1990	250	38	0	9.500	0,11	1,27	50.613
1991	306	84	0	9.500	0,11	1,27	112.062
1992	282	108	0	9.500	0,035	1,28	45.691
1993	438	147	0	9.500	0,04	1,28	71.354
1994	823	98	0	9.500	0,042	1,28	50.094
1995	1.102	26	0	9.500	0,042	1,30	13.433
1996	1.369	7	0	9.500	0,04	1,33	3.466
1997	1.736	2	0	9.500	0,012	1,35	268
1998	1.970	2	0	9.500	0,014	1,37	360
1999	1.886	19	0	9.500	0,013	1,37	3.227
2000	2.818	23	0	13.000	0,014	1,51	6.241
2001	3.359	41	0	13.000	0,017	1,51	13.604
2002	3.563	145	0	13.000	0,017	1,51	48.217
2003	3.937	126	143	14.000	0,019	1,55	51.951
2004	4.066	207	1.177	14.000	0,016	1,55	71.817
2005	3.388	175	4.051	14.000	0,016	1,55	60.717
2006	1.700	10	8.411	15.000	0,014	1,59	3.373
2007	1.941	0	18.708	17.000	0	1,67	0
2008	1.435	0	23.311	19.000	0	1,74	0
2009	1.147	0	23.789	22.000	0	1,86	0
2010	1.185	0	24.577	22.000	0	1,86	0
TOTAL (t)							3

Cálculo das emissões totais de CO para veículos flex utilizando os fatores de deterioração do AP-42

Ano de fabricação	Quantidade de veículos por combustível			Quilometragem média percorrida (ano)	Fatores médios de emissão	Fator de deterioração	Total das Emissões
	Gasolina	Álcool	Flex				
< 1988	392	920	0	9.500	0	1,42	0
1988	32	245	0	9.500	0	1,49	0
1989	95	149	0	9.500	0	1,53	0
1990	250	38	0	9.500	0	1,61	0
1991	306	84	0	9.500	0	1,63	0
1992	282	108	0	9.500	0	1,64	0
1993	438	147	0	9.500	0	1,64	0
1994	823	98	0	9.500	0	1,64	0
1995	1.102	26	0	9.500	0	1,64	0
1996	1.369	7	0	9.500	0	1,64	0
1997	1.736	2	0	9.500	0	1,64	0
1998	1.970	2	0	9.500	0	1,64	0
1999	1.886	19	0	9.500	0	1,64	0
2000	2.818	23	0	13.000	0	1,88	0
2001	3.359	41	0	13.000	0	1,88	0
2002	3.563	145	0	13.000	0	1,88	0
2003	3.937	126	143	14.000	0,5	1,94	1.946.200
2004	4.066	207	1.177	14.000	0,39	1,94	12.498.670
2005	3.388	175	4.051	14.000	0,45	1,94	49.614.231
2006	1.700	10	8.411	15.000	0,48	2,01	121.829.094
2007	1.941	0	18.708	17.000	0,48	2,15	327.683.333
2008	1.435	0	23.311	19.000	0,51	2,28	515.328.496
2009	1.147	0	23.789	22.000	0,33	2,48	428.961.928
2010	1.185	0	24.577	22.000	0,33	2,48	443.171.206
						TOTAL (t)	1.901

Cálculo das emissões totais de HC para veículos flex utilizando os fatores de deterioração do AP-42

Ano de fabricação	Quantidade de veículos por combustível			Quilometragem média percorrida (ano)	Fatores médios de emissão	Fator de deterioração	Total das Emissões
	Gasolina	Álcool	Flex				
< 1988	392	920	0	9.500	0	1,35	0
1988	32	245	0	9.500	0	1,26	0
1989	95	149	0	9.500	0	1,27	0
1990	250	38	0	9.500	0	1,27	0
1991	306	84	0	9.500	0	1,27	0
1992	282	108	0	9.500	0	1,28	0
1993	438	147	0	9.500	0	1,28	0
1994	823	98	0	9.500	0	1,28	0
1995	1.102	26	0	9.500	0	1,30	0
1996	1.369	7	0	9.500	0	1,33	0
1997	1.736	2	0	9.500	0	1,35	0
1998	1.970	2	0	9.500	0	1,37	0
1999	1.886	19	0	9.500	0	1,37	0
2000	2.818	23	0	13.000	0	1,51	0
2001	3.359	41	0	13.000	0	1,51	0
2002	3.563	145	0	13.000	0	1,51	0
2003	3.937	126	143	14.000	0,05	1,55	154.942
2004	4.066	207	1.177	14.000	0,08	1,55	2.041.127
2005	3.388	175	4.051	14.000	0,11	1,55	9.655.336
2006	1.700	10	8.411	15.000	0,1	1,59	20.022.746
2007	1.941	0	18.708	17.000	0,1	1,67	52.959.891
2008	1.435	0	23.311	19.000	0,069	1,74	53.281.340
2009	1.147	0	23.789	22.000	0,032	1,86	31.164.758
2010	1.185	0	24.577	22.000	0,032	1,86	32.197.084
						TOTAL (t)	201

Cálculo das emissões totais de NOx para veículos flex utilizando os fatores de deterioração do AP-42

Ano de fabricação	Quantidade de veículos por combustível			Quilometragem média percorrida (ano)	Fatores médios de emissão	Fator de deterioração	Total das Emissões
	Gasolina	Álcool	Flex				
< 1988	392	920	0	9.500	0	1,11	0
1988	32	245	0	9.500	0	1,15	0
1989	95	149	0	9.500	0	1,16	0
1990	250	38	0	9.500	0	1,17	0
1991	306	84	0	9.500	0	1,17	0
1992	282	108	0	9.500	0	1,17	0
1993	438	147	0	9.500	0	1,17	0
1994	823	98	0	9.500	0	1,22	0
1995	1.102	26	0	9.500	0	1,33	0
1996	1.369	7	0	9.500	0	1,44	0
1997	1.736	2	0	9.500	0	1,44	0
1998	1.970	2	0	9.500	0	1,44	0
1999	1.886	19	0	9.500	0	1,44	0
2000	2.818	23	0	13.000	0	1,61	0
2001	3.359	41	0	13.000	0	1,61	0
2002	3.563	145	0	13.000	0	1,61	0
2003	3.937	126	143	14.000	0,04	1,65	132.361
2004	4.066	207	1.177	14.000	0,05	1,65	1.362.231
2005	3.388	175	4.051	14.000	0,05	1,65	4.686.463
2006	1.700	10	8.411	15.000	0,05	1,70	10.720.968
2007	1.941	0	18.708	17.000	0,05	1,79	28.507.094
2008	1.435	0	23.311	19.000	0,041	1,89	34.247.171
2009	1.147	0	23.789	22.000	0,03	2,03	31.807.155
2010	1.185	0	24.577	22.000	0,03	2,03	32.860.760
						TOTAL (t)	144

Cálculo das emissões totais de RCHO para veículos flex utilizando os fatores de deterioração da CETESB

Ano de fabricação	Quantidade de veículos por combustível			Quilometragem média percorrida (ano)	Fatores médios de emissão	Fator de deterioração	Total das Emissões
	Gasolina	Álcool	Flex				
< 1988	392	920	0	9.500	0	1,35	0
1988	32	245	0	9.500	0	1,26	0
1989	95	149	0	9.500	0	1,27	0
1990	250	38	0	9.500	0	1,27	0
1991	306	84	0	9.500	0	1,27	0
1992	282	108	0	9.500	0	1,28	0
1993	438	147	0	9.500	0	1,28	0
1994	823	98	0	9.500	0	1,28	0
1995	1.102	26	0	9.500	0	1,30	0
1996	1.369	7	0	9.500	0	1,33	0
1997	1.736	2	0	9.500	0	1,35	0
1998	1.970	2	0	9.500	0	1,37	0
1999	1.886	19	0	9.500	0	1,37	0
2000	2.818	23	0	13.000	0	1,51	0
2001	3.359	41	0	13.000	0	1,51	0
2002	3.563	145	0	13.000	0	1,51	0
2003	3.937	126	143	14.000	0,004	1,55	12.395
2004	4.066	207	1.177	14.000	0,003	1,55	76.542
2005	3.388	175	4.051	14.000	0,003	1,55	263.327
2006	1.700	10	8.411	15.000	0,003	1,59	600.682
2007	1.941	0	18.708	17.000	0,003	1,67	1.588.797
2008	1.435	0	23.311	19.000	0,002	1,74	1.544.387
2009	1.147	0	23.789	22.000	0,0024	1,86	2.337.357
2010	1.185	0	24.577	22.000	0,0024	1,86	2.414.781
						TOTAL (t)	9